

XXVII CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INATEL
4 A 6 DE MAIO DE 2015

REALIZE

ISSN 2359-6457

EXPANDA SEUS HORIZONTES

A mente que se abre a uma nova ideia não volta ao tamanho original.

 **Incitel**
Congresso de Iniciação Científica do Inatel

Participe do Congresso de Iniciação Científica do Inatel. Aproveite esta oportunidade para publicar seu trabalho e tenha a chance de trocar conhecimentos com estudantes de todo o país. O primeiro passo para o reconhecimento acadêmico começa aqui.

Apoio:



Realização:

Inatel

inatel.br/incitel
incitel@inatel.br
35 3471-9200 ramal 405

I373

Incitel 2015 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2015:
Santa Rita do Sapucaí)

Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel, 4-6
Maio 2015, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Publicado
por Carlos Alberto Ynoguti. – Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 2015.

275 p. il.

1. Engenharia – I. Título. II. YNOGUTI, Carlos Alberto.

CDU – 621

Catálogo Sistemático

Engenharia Biomédica	CDU – 57.089
Engenharia da Computação	CDU – 62
Engenharia de Telecomunicações	CDU – 621.39
Automação Industrial Engenharia	CDU – 681.5
Empreendedorismo	CDU – 658.3

Mensagem da Coordenação

É com grande alegria que recebemos vocês, jovens pesquisadores, aqui no Inatel, para o Incitel 2015. Este encontro tem como principal objetivo a troca de ideias, informações e experiências, nas diversas áreas da ciência.

Esperamos também que possamos, nestes dias de convívio, fazer novos e amigos e também nos divertir bastante.

A organização de um congresso dá muito trabalho, e gostaria de aproveitar este espaço para agradecer às alunas Amanda Cristina Coelho e Lidiane Ingrid Lopes pelo enorme esforço dedicado para que este projeto fosse realizado com sucesso.

Desejo a todos um ótimo congresso e uma excelente estadia em Santa Rita do Sapucaí.



**Prof. Dr. Carlos Alberto Ynoguti
Coordenador Geral – Incitel 2015**

SESSÕES

Sessão Técnica I – Biomédica I

Estudo das Ondas Eletromagnéticas e sua aplicação Sistema Linfático.....1

Prof. Dr. Francisco Eduardo de Carvalho Costa, Mariana Cardoso Ferreira, Natália Cenira Ottoni Albuquerque, Andressa Ferreira de Oliveira e Profa. Msc. Elisa Rennó Carneiro Dester

Seleção de levedura produtora de bioplástico.....5

Prof. Dr. Francisco Eduardo de Carvalho Costa, Gabriela Pereira Moreira, Elisa Rennó Carneiro Dester, Jânder de Almeida Barbosa, Letícia Lopes Siqueira , Nicoli Bernardes Costa e Fernando Carlos Pagnocca

Produção de PHB por Leveduras e Fungos LEVEDURIFORMES.....11

Isabel Francine Mendes, Andressa Giovana Nazaré da Costa, Prof. Msc. Edielson Prevato Frigieri e Prof. Dr. Francisco Eduardo de Carvalho Costa

Análise do Uso de Diferentes Detergentes Laboratoriais para Lavagem de Artigos Hospitalares.....16

Prof. Dr. Francisco Eduardo de Carvalho Costa, Larissa Mayra Silva Ribeiro e Diego Vieira Pereira

Sessão Técnica II – Automação I

Aplicação e desenvolvimento em robótica e inteligência artificial.....19

Prof. Alexandre Baratella Lugli, Camila Sales Pinto, Prof. Diego A. Lemes, Haroldo M. Dornelas, José Lucas de L. Pereira, Luis Filipe de O. Carvalho, Mariana de S. L. Padinha, Monique F. C. Paduan e Prof. Wanderson E. Saldanha

Aplicação e desenvolvimento da robótica em competições - seguidor de linha.24

Prof. Alexandre Baratella Lugli, Profa. Ana Letícia Gomes Gonçalves, Caroline Gabriele da Fonseca Macedo, Felipe Gustavo de Freitas Rocha, Gabriel Tenório da Fonseca, Juliana de Almeida Mendes, Nathália Silva Almeida e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Estudo sobre a medição de vazão baseada no tempo de trânsito de sinais ultrassônicos.....28

Bruna Maira da Silva, Luiz Guilherme Pereira e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha

Estudo sobre técnicas de mapeamento de ambiente para detecção e combate pontual de focos de Incêndios Estruturais.....35

Leonardo Siqueira Castilho, Rhyesla Amanda Siqueira de Souza e Profa. Ana Letícia Gomes Gonçalves

Sessão Técnica III – Engenharia Elétrica I

Análise Microestrutural de uma Ferrita de Cobalto-Cobre.....	37
Jéssica Aparecida Nascimento Ferreira ,Mayara dos Santos Amarante e Antonio Carlos da Cunha Migliano	
Interação óptica com a matéria e formação de ondas superficiais de plasmons.....	40
Caroline Cristiane Pereira, Diego Alvarenga Parreira e Prof. José Antônio Justino Ribeiro	
Avaliação de Custos Completos: uma aplicação em usinas de geração de energia elétrica.....	45
Profa. Dra. Denise Helena Lombardo Ferreira e Carolina Baron	

Sessão Técnica IV – Ensino I

Explorando o Winplot e suas aplicações no ensino e aprendizagem do Cálculo I.....	49
Michely Campioni Vilela e Prof. Luiz Felipe Simões de Godoy	
Desenvolvimento de um software para aplicação em Sinais e Sistemas, utilizando o GeoGebra.....	55
Giovani José Cassiano, Prof. Rodrigo Guaracy Santana e Maurício Aparecido da Silva	
Estudo e Desenvolvimento de um Sítio Virtual para Auxílio do Estudo de Física.....	58
Profa. Karina Perez Mokarzel Carneiro, Kennety Diego Ribeiro, Prof. Felipe Chaves e Thamer Kersul Brito	
Aplicações na Engenharia do Estudo de Integrais Desenvolvido no Cálculo Diferencial e Integral.....	60
Tamony Cristiane Silva, Jéssica Borges Dias, Prof. Paulo Cesar Xavier Duarte e Eduardo Ferreira Silva	
O uso de mineração de dados na segurança da informação de um sistema acadêmico: um modelo para detectar fraudes em documentos digitais.....	62
Rodolfo da Silva Pache de Faria e Leandro Augusto da Silva	

Sessão Técnica V – Empreendedorismo e Gestão

- Desenvolvimento de curso EaD para a formação de tutores do Jogo de Empresas Bom Burguer.....66**
Mariana de Toledo Marinho, Kátia Lívia Zambon e José de Souza Rodrigues
- Avaliação da importância do Sebraetec para o desenvolvimento das micro e pequenas empresas de Santa Rita do Sapucaí.....70**
Prof. Me. André Luis da Rocha Abbade e Juliana Aparecida Ananias
- Análise Envoltória de Dados: uma aplicação na avaliação dos cursos da área Engenharia IV.....74**
Profa. Dra. Denise Helena Lombardo Ferreira e Luciano Hideaki Fujita
- Impacto da Incerteza na Seleção de Projetos Considerando Média-Variância.....77**
Vanessa Mendes Rennó, Mateus de Oliveira Alves e Prof. Guilherme Augusto Barucke Marcondes
- Estudo da utilização do gerenciamento de projetos em empresas em desenvolvimento.....81**
Robertha Guerra Bastos Silva, Prof. Afonso Celso Soares e Tassiany Domingos Albergaria

Sessão Técnica VI – Computação

- Plataforma Didática para ensino de Estruturas de Dados Multidimensionais..85**
Bruno Porto Masquio e Paulo Eustáquio Duarte Pinto
- Previsão Probabilística da Incidência de Chuva Utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs) em Sistemas de Monitoramento Ambiental.....91**
Elias Francisco Sabat Júnior, Matheus Campos Senra, Jardam Samuel Silva Guedes, Wellington Viana Lobato Júnior e Sther Alves
- Aplicativo Android para localização de Smartphones sem o uso do Serviço de Dados.....96**
Laís de Cássia Silva Alfredo, Dione Rafael Ribeiro e Prof. Daniel Andrade Nunes
- Proposta de Sistema Operacional de Tempo Real Orientado a Eventos para Sistemas Embarcados com Foco em Aplicações para Internet das Coisas.....100**
Amanda Kelly da Silva, Samuel Pereira e Prof. Edielson Prevato Frigieri
- Inclusão Digital para Deficientes Visuais Utilizando Plataformas Móveis.....106**
Gleyciane Aparecida Brandão, Natalia Horrana Melo Pereira e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita
- Medidor de Taxa de Erro de Bits com Protocolo de Interconexão AXI4 Lite.113**
Matheus Costa de Souza, Pavel Suene Félix Lopes Teixeira e Prof. Antonio Marcos Alberti

Sessão Técnica VII – Automação II

Utilização de Lógica Fuzzy em Veículos Autônomos – Modelo “The Freescale Cup”.....116

João Pedro Martins Souza, Prof. Evandro Luís Brandão Gomes, Wélington Borsato Rodrigues e Prof. Edielson Prevato Frigieri

Planta Didática de Nível utilizando Plataforma Arduíno e Sensor Ultrassônico.....124

Leonardo Augusto Amaral Sanches da Cunha e Prof. João Paulo Carvalho Henriques

Biblioteca de funções PID com independência de hardware.....129

Diego de Souza Faria e Prof. José Domingos Adriano

Suporte de painel solar síncrono “ajuste de azimute e elevação inteligente”..134

Rodrigo Otávio Rocha Cardoso, Eduardo Victorino Garrido Leite, Felipe Benedito Ramalho e Henrique Francisco de Paula

Sistema de Monitoramento de Plantações.....140

Luiz Cláudio de Andrade Júnior, Vitor Ivan D’Angelo, Profa. Ana Letícia Gomes Gonçalves, Pedro Lúcio Leone Andrade Júnior e Wellington Cássio Faria

Controle de navegação via Internet de um robô utilizando tecnologia Arduíno.....144

Hallan Rafael Marques Moreira, Rafael Macedo de Almeida e Prof. Carlos Alberto Ynoguti

Sessão Técnica VIII – Engenharia Elétrica II

Correlação entre medidas da radiação X (0.5 a 8.0 A) na ionosfera e ressonâncias de Schumann observadas em São Jose dos Campos, SP, Brasil.148

João Paulo Corrêa, Inácio Malmonge Martin Franklin Andrade da Silva e Mauro A. Alves

Sistema de Transmissão de Dados de Instrumentação de Pontes Através da Rede GSM/GPRS.....151

Bruna Benildo dos Reis Vaz, Guilherme Rezende Fernandes de Carvalho e Celso Iwata Frison

IPTV e protocolo IPV6.....159

Tárcio Rodrigues Dutra, Ivo de Souza Abrão e Prof. Carlos Roberto dos Santos

Determinação Analógica da Defasagem Entre Sinais.....166

Gabriel Bastos Barbosa Luz e Ricardo Rhomberg Martins

Elaboração de Sistema Traçador de Curvas de Histereses.....	172
Jhonatan Wagner Rigo Gonçalves, Prof. Ms. Leonardo Violim Lemos e Prof. Dr.	
Antônio Carlos da Cunha Migliano	

Sessão Técnica IX – Biomédica II

Usabilidade aplicada a equipamentos eletromédicos.....	175
Thais Gaya de Andrade e Prof. Marco Túlio Perlato	

Estudo da Eletroestimulação Funcional na correção da marcha de pacientes hemiplégicos.....	177
Ulisses Augusto Silva Silveira e Prof. Yvo Marcelo Chiaradia Masselli	

Avaliação da interferência do esmalte de unha na oximetria de pulso.....	181
Andressa Magalhães Fernandes e Prof. Marco Túlio Perlato	

Dispositivo vestível no tratamento com acupuntura eletrônica em pacientes com lesão medular.....	183
Julia Volpato, Lua Clara Camargo Magalhães, Andressa Ferreira de Oliveira e Profa. Crishna Irion	

Pulse - Sistema de Circulação Extracorpórea Pulsátil.....	185
Laura Costa Capistrano Cunha, Mário Henrique Carvalho de Oliveira e Prof. Rinaldo Duarte Teixeira de Carvalho	

Sessão Técnica X – Telecomunicações I

Anulando os Efeitos do Canal com Sombreamento Correlacionado no Sensoriamento Espectral.....	188
Roberto César Dias Vilela Bomfin e Prof. Rausley Adriano Amaral de Souza	

Efeito da dispersão cromática no sinal BPSK em um enlace óptico de longa distância.....	194
Luís Antônio Ribeiro Scudeler, Alan Lima Lemes, Tony Eduardo dos Santos de Carvalho e Prof. Antonio Alves Ferreira Júnior	

Antenas Inteligentes (Smart Antennas)	200
Adelson Ângelo Julião Malichi, Prof. Carlos Augusto Rocha e Vinicius Luiz Gaspar	

Implementação de rotina em MATLAB para simulação no projeto de antenas.....	204
Daniel Rodrigues Ferraz Izario, Prof. Carlos Nazareth Motta Marins e Pedro Henrique Leite Silva Telles	

Avaliação dos efeitos da Dupla Transformada de Walsh-Hadamard em Sistemas SC-FDMA com Canal Linear Seletivo em Freqüência.....	208
Tatiane Escobar Alves, Iracema Bonomini e Prof. Guilherme Pedro Aquino	

Sessão Técnica XI – Redes I

Redes Wi-Fi Cognitivas.....	215
M. M. Bontempo, P. S. Marques e Prof. Arismar Cerqueira S. Jr.	
Estudo do Sistema de monitoramento veicular por câmera IP.....	221
Guilherme Campos Pereira dos Santos, João GuilhermeP. Diniz e Leandro S. de Souza	
Redes Wi-Fi de Altíssimas Velocidades – Um Estudo Comparativo entre os Padrões 802.11ac e 802.11ad (Giga bit Wi-Fi/WiGig).....	227
Ricardo Portugal, Víctor Hugo Rodrigues de Barros e Prof. Edson Josias Cruz Gimenez	
Análise da Viabilidade Técnica e Econômica para a “Smart Grid”, com foco em “Smart Meter”	232
Renata de Oliveira, Prof. Pedro Sergio Monti e Paulo Henrique Teles de Souza Ramos	
Redes de Telecomunicações Aplicadas a <i>Smart Grid</i>.....	241
Renata de Oliveira, Felipe Terra Muniz, Nayara Stella Pereira e Prof. Pedro Sergio Monti	

Sessão Técnica XII – Ensino II

Ensino de Engenharia através do Desenvolvimento de Jogos utilizando Construct2.....	250
Khaíque de Paula Rocha Silva e Evandro Luís Brandão Gomes	
Desenvolvimento de Jogos no Ensino da Engenharia.....	252
Daniel Sader Pontello Neves	
Gamificação no Ensino de Algoritmos através do Jogo “Piratas do Futuro”.....	255
Profa. Rosimara Beatriz Arci Salgado, Prof. Carlos Alberto Ynoguti, Jonas Vilasbôas Moreira, Eduardo Heluany Duarte e Rodrigo Carlos Brezolin Martins	
Sistemas Dinâmicos e aplicações em circuitos elétricos.....	259
Prof. Felipe Emanoel Chaves, Giovani de Almeida Ribeiro e Pedro Emilio Gória Silva	
Ferramentas computacionais para Cálculo Numérico.....	266
Larissa de Cassia Guimarães, Gabriel Eduardo Silva Leite, Karine Bueno da Silveira e Prof. Renan Ralpe Sthel Duque	

Estudo das Ondas Eletromagnéticas e sua aplicação Sistema Linfático

Prof. Dr. Francisco
Eduardo de
Carvalho Costa

Instituto Nacional de
Telecomunicações -
Inatel
costafec@inatel.br

Mariana Cardoso
Ferreira

Instituto Nacional
de
Telecomunicações -
Inatel
marianaferreira@ge
b.inatel.br

Natália Cenira
Ottoni
Albuquerque

Instituto Nacional
de
Telecomunicações -
Inatel
natalia.albuquerque
@inatel.br

Andressa Ferreira
de Oliveira

Instituto Nacional de
Telecomunicações -
Inatel
andressa_ferreira@g
eb.inatel.br

Profa. Msc. Elisa
Rennó Carneiro
Dester

Instituto Nacional de
Telecomunicações -
Inatel
elisa.renno@inatel.br

Resumo— O presente estudo é um trabalho multidisciplinar que visa auxiliar os profissionais da área de saúde no tratamento de doenças linfáticas, como o linfedema, assim como o desenvolvimento de novas tecnologias para esse fim, através do uso de campo magnético estático. Este artigo aborda com detalhes estudos sobre os eletroímãs e seus respectivos campos magnéticos. Após a construção do embasamento teórico, testes serão feitos inicialmente em humanos a fim de se obter dados dos resultados da interação do campo magnético com o sistema linfático. Nesta primeira etapa foram testados os campos gerados por alguns eletroímãs disponíveis no município de Santa Rita do Sapucaí.

Palavras-chaves: campo magnético, edema linfático, tratamento.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho é uma continuação do estudo sobre aplicação do campo magnético no sistema linfático que tem por objeto o estudo sobre os eletroímãs e seus respectivos campos magnéticos para que sejam utilizados em um equipamento para tratamento de linfedema em membros superiores e inferiores.

II. CAMPO MAGNÉTICO E O CORPO HUMANO

Diversos estudos têm sido realizados sobre os males causados ao organismo humano quando exposto a certos tipos de campos magnéticos, principalmente no desenvolvimento de câncer [1, 2, 3]. Como o principal objetivo é o tratamento do linfedema com campo magnético, levanta-se a preocupação em aprofundar se poderia haver algum dano ao paciente se exposto a um campo magnético com certas intensidades.

Kheifets et al. [4] demonstram ser improvável que campos magnéticos em pequenas intensidades e por curtos períodos possam causar algum tipo de câncer. Os estudos foram feitos em animais, onde nenhum desenvolveu câncer por causa do campo magnético aplicado.

Vilela [3] buscou em seus estudos um possível efeito nocivo no organismo humano dos campos gerados pelas antenas e das novas tecnologias. A conclusão foi que estudos que tiveram como conclusão algum efeito nocivo à saúde humana foram contrariados mais tarde ou estudos realizados sob as mesmas condições não conseguiram reproduzir os resultados iniciais. Com isso também não há evidência de que o campo magnético possa causar algum mal à saúde humana. No entanto este levantamento parece ir de encontro com outros trabalhos publicados em periódicos reconhecidos [5, 6].

Morris e Skalak [7], no Caderno Jurídico [8], comprovam a eficiência da redução de processos inflamatórios e edemas utilizando campos magnéticos estáticos. Como conclusão deste estudo os autores observaram que a aplicação do campo magnético estático pode modular a pressão arterial e o fluxo, sugerindo assim o uso deste tipo de campo no tratamento de tecidos edematosos. No estudo, ímãs de 70 [mT], cerca de 10 vezes mais fortes do que um ímã de geladeira, mostraram um forte efeito, expandindo vasos que haviam sido artificialmente constritos e contraíndo vasos que haviam sido artificialmente dilatados. Os resultados [9, 10] mostram que a terapia magnética pode induzir o relaxamento de vasos em tecidos com suprimento de sangue deficiente - ou seja, os ímãs realmente aumentam a circulação sanguínea.

III. ELETROÍMÃS

Para a aplicação do campo magnético serão utilizados três modelos de eletroímãs, sendo eles:

Modelo 1 – F120 – 12Vcc. Modelo 4 – F100 – 24Vcc.
Modelo 2 – F120 – 24Vcc. Modelo 5 – F200 – 12Vcc.
Modelo 3 – F400 – 12Vcc.

Estes modelos foram testados e medidos e a seguir iremos detalhar os resultados.

Para medir a intensidade do campo magnético foi utilizado um Teslameter, que permite a medida da densidade do fluxo magnético que atravessa uma secção transversal (no ar).

A. Modelo F120 - 12 Vcc

O Eletroímã F120 foi alimentado com uma tensão com corrente contínua de 12 Vcc. O Teslameter ficou o mais próximo possível do imã, ou seja, encostado e o resultado está descrito na tabela abaixo:

Modelo F120 - 12Vcc

Tempo (min.)	Intensidade do Campo Magnético (mT)
2	18
5	21
7	21
10	21
12	20
15	19
17	18
20	18

Tabela 1 – Medidas da variação do campo magnético em relação ao tempo.

Pode-se observar que nos primeiros 2 minutos o campo medido é de 18mT, a medida que o tempo aumenta o eletroímã estabiliza seu campo em 21 mT. Após os primeiros 15 minutos o eletroímã sofre um pequeno aquecimento, e ao atingir os 20 minutos mantém a intensidade do campo em 18mT.

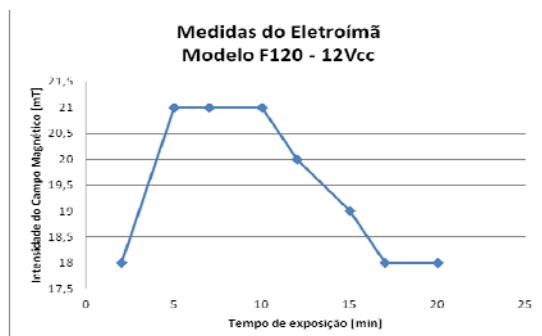


Gráfico 1 – Descrição gráfica da variação do campo magnético em relação ao tempo.

B. Modelo F120 - 24 Vcc

O Eletroímã F120 foi alimentado com uma tensão com corrente contínua de 24 Vcc. O Teslameter ficou o mais próximo possível do imã, ou seja, encostado e o resultado está descrito na tabela a seguir:

Modelo F120 - 24Vcc

Tempo (min.)	Intensidade do Campo Magnético (mT)
2	34
5	38
7	38,5
10	38,5
12	38,5
15	35
17	32
20	32

Tabela 2 - Medidas da variação do campo magnético em relação ao tempo.

O modelo F120 foi montado para receber a tensão de 24Vcc, com o aumento da tensão de 12 Vcc para 24 Vcc o fluxo magnético também aumentou mas com uma variação muito maior no período de 20 minutos.

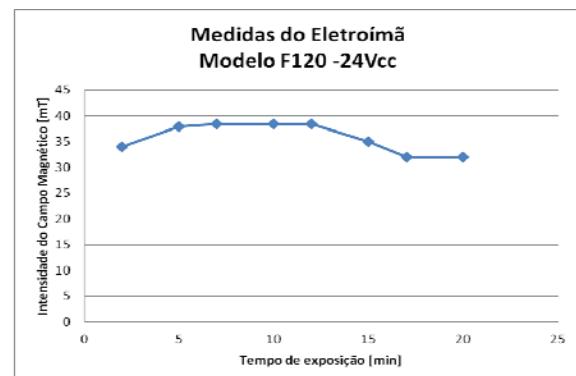


Gráfico 2 – Descrição gráfica da variação do campo magnético em relação ao tempo.

Como pode ser analisado no gráfico acima, sua estabilidade foi superior por um período maior, houve pouco aquecimento, mas intensidade do campo magnético foi inferior ao modelo F120 alimentado com 12Vcc.

C. Modelo F400 - 12 Vcc

O Eletroímã F400 foi alimentado com uma tensão com corrente contínua de 12 Vcc. O Teslameter ficou o mais próximo possível do imã, ou seja, encostado e o resultado está descrito na tabela a seguir:

Modelo F400 - 12Vcc

Tempo(min.) Intensidade do Campo Magnético (mT)

2	18
5	18
7	21,2
10	21,2
12	21,2
15	20
17	16
20	16

Tabela 3- Medidas da variação do campo magnético em relação ao tempo.

O modelo F400 é um eletroímã mais robusto em relação aos outros, a variação do campo magnético foi maior, ou seja, foi instável, após 15 minutos de teste aqueceu rapidamente e estabilizou o campo magnético em 16mT.

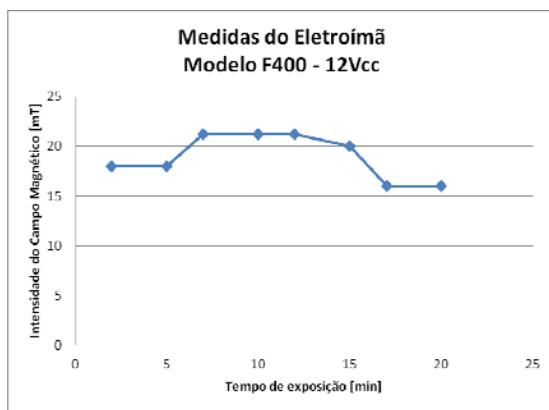


Gráfico 3 – Descrição gráfica da variação do campo magnético em relação ao tempo.

D. Modelo F100 - 24 Vcc

O Eletroímã F100 foi alimentado com uma tensão com corrente contínua de 24 Vcc. O Teslameter ficou o mais próximo possível do imã, ou seja, encostado e o resultado está descrito na tabela a seguir:

Modelo F100 - 24Vcc

Tempo (min)	Intensidade do Campo Magnético (mT)
2	33
5	33,4
7	34,2
10	34,2
12	34,2
15	34,2
17	34,2
20	33,2

Tabela 4 - Medidas da variação do campo magnético em relação ao tempo.

O modelo F100 é o que possui menor dimensão e o que gerou um fluxo magnético mais estável por todo o período testado. O aquecimento foi muito baixo, após os 15 minutos de teste.

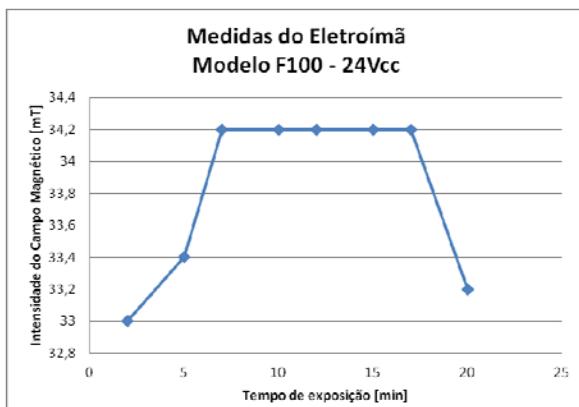


Gráfico 4 – Variação do campo magnético em relação ao tempo de exposição do eletroímã.

Como pode ser observado no gráfico acima, a variação do campo magnético foi estável, variando apenas após um pequeno aquecimento que fez com que o fluxo magnético diminuisse após os 15 minutos de teste.

E. Modelo F200 - 12 Vcc

O Eletroímã F200 foi alimentado com uma tensão com corrente contínua de 12 Vcc. O Teslameter ficou o mais próximo possível do imã, ou seja, encostado e o resultado está descrito na tabela a seguir:

Modelo F200 - 12Vcc

Tempo (min) Intensidade do Campo Magnético (mT)

Tempo (min)	Intensidade do Campo Magnético (mT)
2	17
5	18
7	18
10	18
12	18
15	17,4
17	17,4
20	17,4

Tabela 5 – Medidas da variação do campo magnético em relação ao tempo.

O Modelo F200 obteve uma boa estabilidade no início da medição, mas apresentou um baixo campo magnético em relação aos demais eletroímãs. O aquecimento após 15 minutos de medição foi baixo, com isso a variação no final foi pequena. (Gráfico 5)

Apesar da variação do campo magnético ter sido mínima, a intensidade do fluxo é muito baixa, o que pode ser observado no gráfico acima.

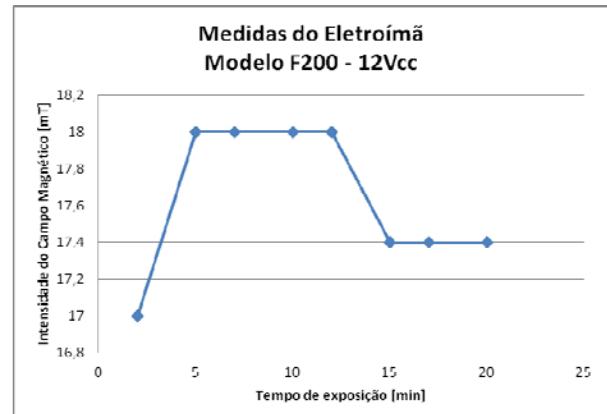


Gráfico 5 – Variação do campo magnético em relação ao tempo de exposição do eletroímã.

V. CONCLUSÕES

O Modelo F100 é o mais indicado para ser utilizado nos testes por haver menos variação do campo magnético com o passar do tempo e pouco aquecimento.

O projeto necessita para os testes imãs de no mínimo 30mT e no máximo 80mT, sendo necessário a montagem e testes em novos eletroímãs.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] MATTOS, I.E.; KOIFMAN, S. Cancer mortality among electricity utility workers in a the state of São Paulo, Brazil. Rev Saúde Pública 1996; 30(6): 564-75.
- [2] RAMÍREZ, J. A. CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS DEVIDO A SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Anais Workshop Nacional: Efeitos Biológicos Devidos à Ação de Campos Eletromagnéticos, USP, São Paulo, Março 2001.
- [3] VILELA, G.P. Transmissões sem fio e campos magnéticos prejudicam a saúde humana? Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo São Paulo, 37 p.
- [4] KHEIFETS, L. I.; GREENBERG, R. S.; NEUTRA, R. R.; HESTER, G. L.; POOLE, C. L.; RALL, D.P.; LUNDELL, G. Electric and Magnetic Fields and Cancer: Case Study. American Journal of Epidemiology, 15(12): 50-59. 2001.
- [5] TEEPEN, J. C.; VAN DIJCK, J.A.A.M. Impact of high electromagnetic field levels on childhood leukemia incidence. Int. J. Cancer, 131: 769–778, 2012.
- [6] SUN, J.; LI, X.; GAO, H.; YIN, J.; QIN, Q.; NIE, S.; WEI, S. Electromagnetic Field Exposure and Male Breast Cancer Risk:
- [7] A Meta-analysis of 18 Studies. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 14: 523-528, 2013.
- [8] MORRIS, C. E.; SKALAK, T. C. Acute exposure to a moderate strength static magnetic field reduces edema formation in rats. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2008; 294 (1): H50–7.
- [9] ESCOLA SUPERIOR DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE SÃO PAULO. POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA. Caderno Jurídico. São Paulo: Escola Superior do Ministério Público de São Paulo, 6(2), p. 288, 2004.
- [10] KISS, B; LÁSZLÓ, J. F.; SZALAI, A.; PÓRSZÁS, R. Analysis of the Effect of Locally Applied Inhomogeneous Static Magnetic Field-Exposure on Mouse Ear Edema – A Double Blind Study. PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0118089. 2015.
- [11] XU, S.; OKANO, H.; NAKAJIMA, M.; HATANO, N.; TOMITA, N.; IKADA, Y. Static Magnetic Field Effects on Impaired Peripheral Vasomotion in Conscious Rats. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2013, Article ID 746968, 6 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/746968>

Seleção de Levedura Produtora de Bioplástico

Francisco Eduardo de Carvalho Costa

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
costafec@inatel.br

Gabriela Pereira Moreira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gabrielamoreira@geb.inatel.br

Letícia Lopes Siqueira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
leticialopes@geb.inatel.br

Elisa Rennó Carneiro Dester

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
elisa.renno@inatel.br

Jânder de Almeida Barbosa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
jander_barbosa@hotmail.com

Nicoli Bernardes Costa

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
nicoli@geb.inatel.br

Fernando Carlos Pagnocca

Universidade Estadual Paulista – UNESP
pagnocca@rc.unesp.br

Resumo: O plástico convencional produzido a partir do petróleo possui inúmeras desvantagens, entre elas econômica e ambiental. Uma solução 100% renovável e que vem se destacando é o plástico biodegradável ou bioplástico, gerados a partir da síntese de bactérias e fungos. Entre eles o Polihidroxibutirato (PHB), Polihidroxialcanoato (PHA) e Pululana. Foram estudados microrganismos pertencentes as espécies *Pichia kudriavzevii*, *Candida shehatae* e *C. guilhermondii*, cedidos pela Central de Recursos Microbianos da UNESP. As leveduras foram inoculadas em um meio mineral suplementado com palha de café in natura para degradação da biomassa existente no substrato para prospecção dos bioplásticos citados acima. Treze das estirpes testadas apresentaram formação de membrana na superfície do meio. A levedura Y1a foi analisada através de um microscópico óptico, confirmando a existência de PHB.

Palavras-chave: Bioplástico, Levedura

I. INTRODUÇÃO

Os plásticos sempre foram conhecidos pela sociedade pela sua versatilidade, preço, leveza, boa resistência mecânica e principalmente pela capacidade de duração. A maioria deles são provenientes do petróleo, um recurso natural não-renovável, gerando plásticos sintéticos muito resistentes a degradação natural, que levam de 100 a 400 anos para se decompor [1]. Devido a suas inúmeras aplicações, o seu uso tem aumentado constantemente, e mais de 100 milhões de toneladas são produzidas por ano [2] com uma ordem de crescimento de 5 a 6% em países densamente habitados [3], tendo como resultado um acúmulo cada vez maior.

As principais formas para tratar dos resíduos plásticos acumulados são: incineração, reciclagem e aterros sanitários. Uma outra alternativa está no uso de polímeros biodegradáveis [2].

Os plásticos biodegradáveis ou bioplásticos possuem como principal obstáculo para aumentar a sua representação no mercado de plásticos, o seu preço muito elevado. Outro ponto prejudicial é uma ineficiente escala de produção, em relação aos plásticos provenientes do petróleo. Porém as altas frequentes do preço do petróleo estão estimulando, cada vez mais, o interesse em pesquisas para desenvolvimento de biopolímeros provenientes de recursos renováveis [3;4].

O bioplástico é um material produzido a partir de matéria-prima 100% renovável, favorecendo o processo de decomposição [3]. Os polímeros biodegradáveis mais comuns encontrados atualmente são: PHB (polihidroxibutirato), PHA (polihidroxialcanoato) e Pululana.

PHB

O processo de produção do PHB no Brasil iniciou-se em 1995 na Usina da Pedra em Serrana-SP, com a parceria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, da COPERSUCAR e da Universidade de São Paulo, USP [5].

A forma mais utilizada de obtenção do PHB, para fins industriais ou para pesquisas, é a síntese por microrganismos, especialmente bactérias [6].

Atualmente, o PHB é fabricado pela BIOCYCLE®, produzido na Usina da Pedra, em Serrana- SP, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, COPERSUCAR e Universidade de São Paulo. O PHB é produzido pela bactéria *Ralstonia*

eutropha, geneticamente modificada para o consumo de sacarose. Espécies não modificadas de *Ralstonia eutropha* são capazes de metabolizar apenas açúcar invertido [6]. A *R. eutropha* é muito utilizada devido a alta taxa de produção de polímero e alto rendimento [1].

O processo de produção do PHB pode ser dividido em distintas etapas: Pré-fermentação, fermentação (estabelecimento da massa molar final do polímero), decantação dos microrganismos, extração do PHB (determinação da flexibilidade), cristalização, purificação com auxílio de um solvente orgânico capaz de romper a parede celular do microrganismo [7], recuperação do solvente, secagem e extração de cristais de PHB (estabelecimento do grau de pureza) [1].

O processo de obtenção do PHB utilizado no projeto Copersucar-IPT envolve duas fases nos fermentadores, sendo que na primeira, as bactérias são conduzidas a crescerem em um meio de cultura sem limitação de nutrientes, até uma determinada concentração celular desejada. Na segunda fase, a síntese do PHB ocorre quando há limitação de nutrientes quando produz grânulos de poliésteres em seu interior, que servem como reserva de energia para as bactérias [1;5].

O PHB possui propriedades semelhantes ao polipropileno (Tabela 1) como alta cristalinidade, resistência a misturas, resistência à água, resistência a radiação ultravioleta, biocompatibilidade, alta regularidade da cadeia carbônica e elevada massa molar, porém, a característica quebradiça e baixa possibilidades de processamento acabam limitando seu uso [1;6]. Seu alto custo de produção pode ser evitado utilizando-se fontes de carbono mais barata, como o bagaço de cana-de-açúcar ou outros resíduos da agroindústria [7].

Tabela 1 - Propriedades do PHB comparadas ao Polipropileno isotáctico.

Propriedades	PHB	PP
Densidade (g/cm ³)	1,25	0,905
Cristalinidade (%)	80	70
Massa Molar Ponderal média (105g/mol)	5	2
Módulo de elasticidade (GPa)	1 - 4	1,7
Temperatura de Transição Vitrea (°C)	9	-10
Temperatura de Fusão (°C)	173 – 180	176
Resistência a Tração (MPa)	40	38
Deformação na Ruptura (%)	6	400
Resistência aos Raios UV	Boa	Baixa
Resistência a solventes	Baixa	Boa

O polihidroxibutirato pode ser utilizado na fabricação de embalagens para higiene, cosméticos e produtos

farmacêuticos. Assim como na produção de suturas, próteses, sacolas plásticas, vasos, colheres, frascos de xampu, entre outros [1].

PHA

Grande parte da produção de PHA é feito pelas bactérias, as quais são inseridas em um meio nutritivo com excesso de fonte de carbono e com a limitação de no mínimo um nutriente necessário à multiplicação das células, como o azoto, fósforo, magnésio, ferro, entre outros [8;9].

A produção de PHA vai depender do substrato fornecido à bactéria e da capacidade metabólica que esta possui em sintetizar hidroxiacil-CoA [9;10]. Na Figura 1 foi utilizado o açúcar de cana e o bagaço de cana como substratos, com o metabolismo bacteriano há surgimento de intermediários na forma de hidroxiacil-CoA que são polimerizados pelas próprias bactérias através da enzima PHA sintase [9].

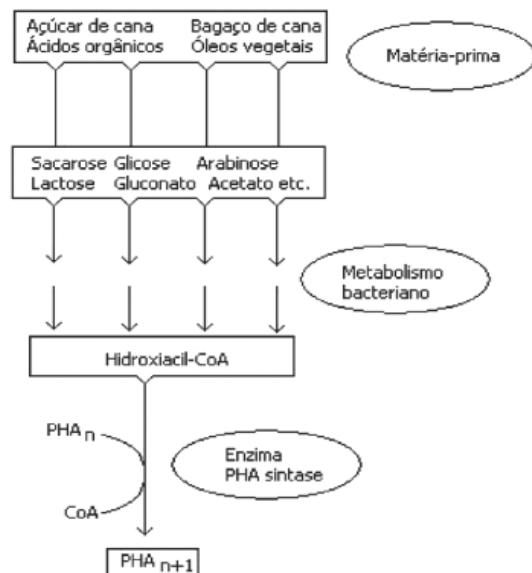


Figura 1 - Síntese de PHA por bactérias. (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000700040)

A PHA sintase é fundamental para a biossíntese de PHA, pois ela influenciará na natureza do polímero final [9]. As principais classes de PHA sintases existentes são as capazes de polimerizar unidades de hidroxiacil-CoA com cadeia curta, de 3 a 5 átomos de carbono, e unidades de hidroxiacil-CoA de cadeia média, de 6 a 14 átomos de carbono, portanto, os monômeros constituintes de PHA são classificados em PHAscl, *Short Chain Length*, e LHAMcl, *Medium Chain Length* [9]. Há diferenças físicas e mecânicas entre esses dois grupos, sendo que o primeiro apresenta propriedades termoplásticas, que são materiais rígidos, e o segundo são elastômeros, que são materiais flexíveis, podendo também se apresentar como materiais viscosos e aderentes, dependendo da quantidade de monômeros insaturados [9;11]. Esse domínio sobre o processo de produção do PHA permite gerar o PHA desejado.

O PHAscl é comumente produzido pelas bactérias *Wautersia eutropha* enquanto que o PHAmcl costuma-se utilizar bactérias da espécie *Pseudomonas* e como principal substrato o ácido graxo [5;12].

Os polihidroxialcanoatos são insolúveis em água, são atóxicos, biocompatíveis, possuem alto grau de polimerização e exibem propriedades piezoeletétricas [13], devido a essas e outras características, eles são usados na

indústria como embalagens e produtos de descarte rápido, na área médica para confecção de suturas cirúrgicas, como material de ligaduras, curativos, molde para próteses, válvulas cardíacas, contrastes para tomografia e parafusos cirúrgicos [12], na indústria farmacêutica como cápsulas ou sistemas de liberação de controle de drogas, na indústria química na obtenção de substâncias químicas enantioméricas, além de serem utilizados como sacolas, aparelho de barbear descartáveis, fraldas, frascos de xampus, entre outros [8]. O maior obstáculo encontrado foi o alto custo da produção, pois as cepas devem possuir velocidade específica de crescimento e produção elevada [13].

Pululana

Dentre os homopolissacarídeos destaca-se a pululana, que é solúvel em água e é produzido extracelularmente por fungos como o *Aureobasidium pullulans* [14], tendo sua forma unicelular sido apontada como a principal produtora de pululana.

A pululana é produzida em biorreatores a partir do cultivo do fungo *A. pullulans* em processo de batelada e condições de temperatura mesofílicas, podendo haver adição de hidrolisado de amido (xarope de dextrose 40-50% ou 10-15%) como principal fonte de carbono [3].

Entre os fatores que influenciam a produção de exopolissacarídeos em *A. pullulans* estão a variabilidade de características das cepas utilizadas, a natureza da fonte de carbono no meio de cultura, o pH (tendo como ótimo para produção entre 5,5 a 7,5 e ótimo para crescimento celular igual ou menor que 4,5), a temperatura de incubação, os níveis de oxigênio dissolvidos, a configuração do fermentador, e a fonte de nitrogênio. A fim de se alcançar melhores rendimentos e menores custos da produção de pululana, têm sido estudados a utilização de resíduos agroindustriais como substratos, o emprego de células imobilizadas e o uso de fermentação descontínuo-alimentada [15].

O crescimento máximo do microrganismo ocorre em torno de 75 horas e o rendimento ótimo é obtido em 100 horas de cultivo, o qual é constantemente agitado e aerado, permanecendo a temperatura constante de 30 °C [3].

A obtenção de pululana (Figura 2) ocorre após completada a reação, a cultura é microfiltrada para remoção do fungo, em seguida é esterilizada a vapor para impedir a continuidade da reação, há a descoloração, devido a presença de pigmentos de melanina, filtrado novamente para remover as demais substâncias presentes e finalmente a cultura é resfriada e direcionada para deionização nas colunas de resinas de troca iônica, na qual há remoção de cloreto, proteínas e pigmentos. A próxima etapa é a evaporação de até 12% de sólidos, descoloração e novamente é filtrado. Ocorre novamente uma evaporação, porém de até 30% sólido, onde é secado, pulverizado e classificado com o auxílio de uma peneira [3].

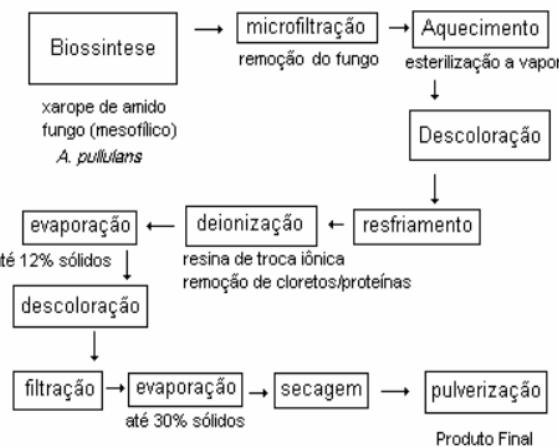


Figura 2 - Síntese de Pululana por fungos. (http://www.redetec.org.br/publice/media/tr06_biopolimeros.pdf)

A pululana é comprimida e moldada sem o auxílio de plastificantes, dando origem a filmes transparentes biodegradáveis com uma alta permeabilidade ao oxigênio [16].

Este polímero não possui odor, sabor e não é tóxico, seu peso molecular varia entre 8.000 a 2.000.000 Da, dependendo da condição de cultivo, é solúvel em água e insolúvel a solventes [3]. Possui aplicações tanto na área industrial quanto na farmacêutica, pois ele pode ser empregado como revestimento externo em alimentos, resultando em maior elasticidade e menor possibilidade de perdas, evitando a quebra da película formada, na obtenção de material plástico biodegradável, não poluente e comestível, substituindo o poliestireno ou o cloreto de polivinila em transparência, dureza, rugosidade e brilho, sendo também aplicada como excipiente em comprimidos, podendo ser moldadas em cápsulas para embalar produtos farmacêuticos e recentemente tem-se proposto o seu uso na forma de curativos biodegradáveis.

Produção de PHB, PHA e Pululana utilizando leveduras

O presente estudo teve como objetivo selecionar microrganismos pertencentes as espécies *Pichia kudriavzevii*, *Candida shehatae* e *C. guilhermondii* capazes de degradar a biomassa lignocelulósica existente no bagaço de cana-de-açúcar e palha de café e formar exopolissacarídeos para a prospecção de PHB, PHA e Pululana. Foram testadas 13 leveduras, sendo 10 isolados de *P. kudriavzevii*, 2 de *C. shehatae* e 1 de *C. guilhermondii*, existentes na Central de Recursos Microbianos da UNESP, localizada no CEIS (Centro de Estudos de Insetos Sociais /UNESP, Rio Claro) e cedidas para o presente estudo ao INATEL.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo do meio

As leveduras foram semeadas no meio composto de 3,5g de fosfato de amônio; 0,75g de fosfato dibásico de potássio; 0,2g de cloreto de cálcio dihidratado; 1,25ml de solução traço de sais (0,1g de sulfato ferroso; 0,1g de cloreto manganoso; 0,1g de sulfato de zinco em 100mL de água destilada); 0,25g de sulfato de magnésio, 1,0g de peptona,

1,0 mL de Tween 80, completando-se o volume para 500mL com água destilada. O pH do meio mineral foi ajustado para 7 [17].

Inoculação

Utilizando-se frasco de vidro com tampa de polipropileno com capacidade de 100 mL, foi preparada uma suspensão celular contendo 10^6 células.mL⁻¹, semeada em 25mL de meio mínimo mineral suplementado com 2,5g de palha de café in natura, onde a palha foi triturada e peneirada.

O meio foi autoclavado a uma temperatura de 121°C por um período de 15 minutos para a realização da inoculação das leveduras. Após a inoculação os frascos de vidros contendo as leveduras com suas respectivas identificações foram incubados sem agitação, no escuro, a 35°C, por 96 horas e em triplicata. Após a incubação foi observada a presença de membrana ou aumento da viscosidade do meio. No caso de formação de membrana ou aumento da viscosidade do meio (viscosímetro de copo tipo Ford) verificou-se a composição do produto liberado pelas estirpes positivas.

Determinação da Viscosidade

Através do viscosímetro de copo tipo Ford foi verificado a viscosidade de cada amostra.

Extração do PHB

Para a sua extração, adicionou-se 25 ml de Clorofórmio em cada frasco de vidro.

Quebra das células e ligação do Clorofórmio no PHB

Deu-se através da agitação dos frascos por um período de 30 minutos cada.

Separação das fases

Alíquotas de 10 mL foram centrifugadas a 4.000 rpm durante 10 min a 4°C, e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático (Figura 3)

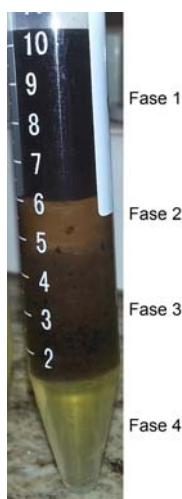


Figura 3 – Separação das fases após centrifugação.

III. RESULTADOS

Treze das estirpes testadas correspondentes aos respectivos códigos e gêneros contidos na Tabela 2 apresentaram a formação de membranas na superfície do

meio.

Tabela 2 - Códigos e gêneros das leveduras utilizadas no teste.

Código INATEL	Código UNESP	Identificação
1	SBC12	<i>P. kudriavzevii</i>
2	SAa1	<i>P. kudriavzevii</i>
3	SBC11	<i>P. kudriavzevii</i>
4	CS	<i>Candida shehatae</i>
5	CS	<i>Candida shehatae</i>
15	Sap15	<i>P. kudriavzevii</i>
25	Sap46	<i>P. kudriavzevii</i>
26	Y3'	<i>P. kudriavzevii</i>
27	Y1'a	<i>P. kudriavzevii</i>
28	Sap22	<i>P. kudriavzevii</i>
30	Sap20	<i>C. guilhermondii</i>
36	Y1a	<i>P. kudriavzevii</i>
45	Sap24	<i>P. kudriavzevii</i>

Após obtidos os resultados de crescimento das estirpes no meio mineral suplementado com palha de café (Tabela 3), foi realizado o Teste de Tukey, teste de comparação de média mais utilizado por ser bastante rigoroso e de fácil aplicação. Ao observar o gráfico da Figura 4, notou-se maior crescimento nas estirpes SAa1, Sap20, Sap24, Sap46, SBC12 e Y1a todos com média de crescimento igual a dois e classificadas no agrupamento “a”, representando cerca de 50% das amostras testadas. Já as amostras Y1a, Sap22 e Y3' classificadas como “a”, apresentaram média de crescimento de 1.667, 1.667 e 1.333 respectivamente, apresentando um bom crescimento, sendo que a mais baixa apresentou um resultado de apenas 33,35% menor que a maioria. E 25% das amostras não apresentaram nenhum crescimento.

Tabela 3 - Crescimento das estirpes testadas em meio suplementado com palha de café.

Estirpes	Média do crescimento	Agrupamento
SAa1	2	a
Sap20	2	a
Sap24	2	a
Sap46	2	a
SBC12	2	a
Y1a	2	a
Sap22	1.667	a
Y3'	1.667	a
Y1'a	1.333	a
CS	0	b
Sap15	0	b
SBC11	0	b

Valores seguidos pela mesma letra são iguais pelo Teste de Tukey, alpha: 0,05 ; Df Error: 24.

Onde: 0 – não cresceu, de 0 a 1 – cresceu pouco, de 1 a 2 – cresceu bem, e acima de 2 – cresceu muito

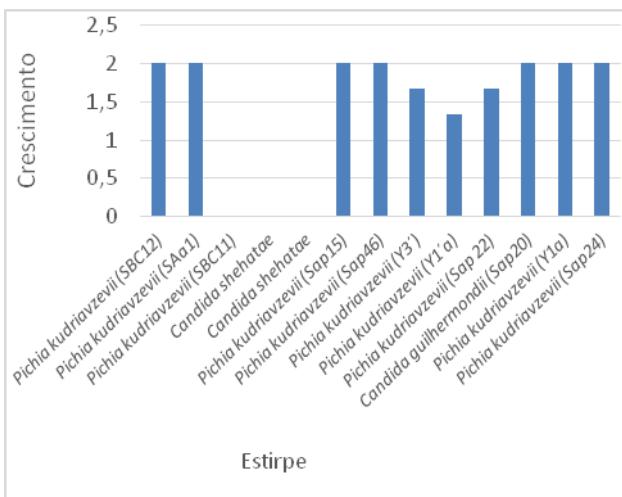


Figura 4 - Crescimento das estirpes testadas em meio suplementado com palha de café.

Na Tabela 4, apresenta-se a relação entre as estirpes e a média de volume (mL) da fase 2 contendo o PHB, calculados com o Teste de Tukey, com um valor de alpha igual a 0,05 e Df error igual a 24. Como observado na Figura 5, a estirpe Sap46 apresentou a maior média de volume, 2,333 mL, e a estirpe SBC11 apresentou menor média de volume, 1,167 mL. Ao compararmos a Figura 4 com a Figura 5, nota-se que a estirpe Sap46 apresentou maior média de crescimento e maior média de volume da fase contendo PHB.

Tabela 4 - Volume da fase contendo o PHB

Estirpes	Média do Volume (mL)	Agrupamento
Sap46	2.333	a
Sap20	2.167	ab
Sap24	2.167	ab
Y1a	1.833	abc
Sap15	1.667	bcd
SBC12	1.633	bcd
CS	1.5	cd
SAa1	1.5	cd
Sap22	1.5	cd
Y1'a	1.5	cd
Y3'	1.333	cd
SBC11	1.167	d

Valores seguidos pela mesma letra são iguais pelo Teste de Tukey, alpha: 0,05 ; Df Error: 24.

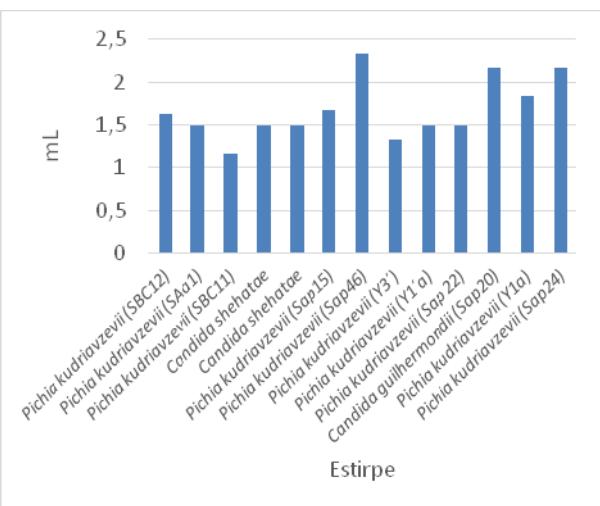


Figura 5 - Volume da fase contendo o PHB

Todos os isolados apresentaram modificação da

viscosidade do meio após sua incubação.

A viscosidade (mm²/s) obtida pelo viscosímetro de copo tipo Ford está apresentada na Figura 6. A estirpe que apresentou maior viscosidade, cerca de 30,6 mm²/s, foi a Y1a, se destacando entre as demais por apresentar viscosidade 63,4% superior que a estirpe Y3', que obteve a segunda maior viscosidade entre as estirpes testadas.

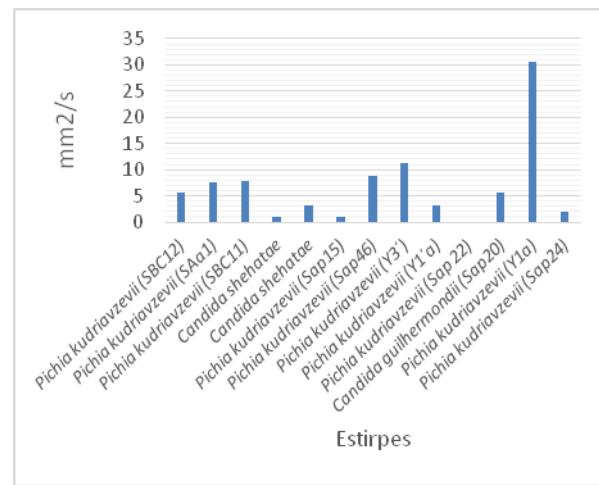


Figura 6 - Viscosidade (mm²/s) do meio após o crescimento leveduriformes.

Através de um microscópio óptico, com o auxílio de uma lâmina e um reagente (Preto Sudão), a estirpe Y1a do gênero *P. kudriavzevii* foi analisada e grânulos hidrofóbicos foram observados. Nesta amostra foi comprovada a existência de PHB na fase dois (Figura 7).

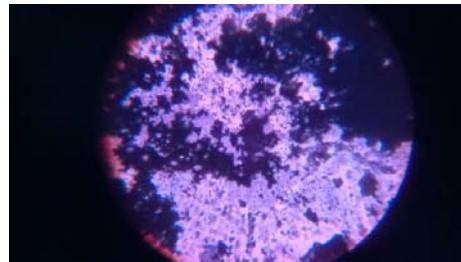


Figura 7 - Análise microscópica da fase 2 da levedura do gênero *Pichia kudriavzevii* (Y1a).

IV. DISCUSSÃO

Devido a ausência de dados e análise sobre a prospecção de estirpes produtoras de PHB a frequência de positividade observada neste estudo não pode ser comparada.

A produção da pululana é influenciada por diversos fatores como: morfologia do fungo, idade da cultura, natureza e concentração das fontes de carbono e nitrogênio, relação carbono/nitrogênio, pH, temperatura, aeração e agitação [15;18]. No presente estudo foi realizado um meio mineral enriquecido com palha de café e bagaço de cana. A expectativa era um crescimento de leveduras em ambos os meios, porém no meio composto por bagaço de cana não foi observado nenhuma alteração da viscosidade e nem formação de membrana, ou seja, não houve crescimento de estirpe, o que pode ser devido ao fato do meio ter ficado semi-sólido, pois o bagaço de cana possui densidade extremamente baixa.

No meio contendo palha de café o crescimento de leveduras foi satisfatório, dado que o mesmo ficou mais rico em nutrientes, havendo uma maior disponibilidade e

mobilidade de sais minerais (osmose).

A primeira tentativa de extração do bioplástico do meio foi acrescentar 25 ml de Clorofórmio e após agitar e misturar por um período de 30 minutos, filtrar utilizando-se da bomba de vácuo, entretanto a bomba de vácuo disponível não estava funcionando. Com a impossibilidade de filtragem a vácuo, o clorofórmio foi extraído do meio através de decantação. Ao ser extraído o mesmo foi depositado em placas de petri e armazenado aberto até sua completa evaporação. Ao ser analisado, não foi constatado a presença de bioplástico.

Não obtendo resultado por decantação, uma amostra foi centrifugada a 4000 RPM em um período de dez minutos. Após a centrifugação, o meio se separou em quatro fases diferentes, e ao examinar cada fase microscopicamente, constatou-se que a fase dois era rica em PHB.

Ao constatar que a fase dois era rica em PHB, as demais amostras foram centrifugadas, o volume da fase dois foi medido, e a mesma foi isolada para futuros testes. Contudo, com a determinação do volume da fase dois de cada amostra não foi possível definir qual levedura produz mais PHB, já que o ideal seria identificar qual a densidade de PHB presente na fase dois por meio de uma análise mais complexa, como aquela feita microscopicamente.

V. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho permitem concluir que é possível encontrar bioplástico através do crescimento de leveduras em meio de cultura suplementado com palha de café, porém não foi possível determinar qual levedura produz mais PHB, pois o ideal seria identificar a densidade do bioplástico presente na fase dois das amostras através de uma análise mais complexa.

O resultado foi satisfatório e colaborou para o avanço da pesquisa. O bioplástico só tem a contribuir com o planeta e com toda a sua população, pois além de ser biodegradável, pode ser produzido a partir de fontes renováveis e baratas como a utilizada no presente estudo.

VI. PERSPECTIVAS FUTURAS

As aplicações desse biopolímero também fazem parte da continuação deste estudo. Como visto anteriormente, pode-se utilizar o bioplástico em diversas áreas, entre elas, estética, farmacêutica e saúde, por exemplo. O objetivo futuro consiste em estudar a produção de um biocurativo através do bioplástico encontrado.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Telles, Mariana Robiati, Saran; Luciana Maria e Unêda-Trevisolli, Sandra Helena. Produção, propriedades e aplicações de bioplástico obtido a partir da cana-de-açúcar. Ciência e Tecnologia FATEC-JB. Jaboticabal – SP. 2011.

[2] Franchetti, Sandra Mara Martins e Marconato, José Carlos. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Rio Claro - SP. 2006.

[3] Pradella, José Geraldo da Cruz. Biopolímeros e Intermediários Químicos. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, Ciência, Tecnologia e Inovação. São Paulo – SP. 2006.

[4] Mottin, Artur Caron; Câmara, Jairo José Drummond; De Miranda, Carlos Alberto Silva e Pagnan, Caroline Salvan. O uso de bioplásticos no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Desenhando o Futuro 2011, 1º Congresso Nacional de Design. Universidade do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG. 2011.

[5] Lopes, Mateus Schreiner Garcez. Produção de Plásticos Biodegradáveis utilizando hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar. Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação, Interunidades em Biotecnologia USP, Instituto Butantan e IPT. São Paulo – SP. 2010.

[6] Neto, Targino Amorim. Estudo de compósitos poliméricos biodegradáveis depoli-hidroxibutirato (phb), poli e-caprolactona (pcl) e pô de madeira. Programa de pós-graduação em gestão e tecnologia industrial da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Salvador - BA. 2011.

[7] Filho, Sylvio Ortega, 2008. Plástico Biodegradável a partir do açúcar da cana de açúcar e a sustentabilidade. Disponível em: http://abiquim.org.br/12cong/pdfs/sylvio_ortega.pdf. Acessado em: 20/11/2014.

[8] Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. Plásticos Biodegradáveis. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/08/maria_filomena.pdf. Acessado em: 20/11/2014.

[9] Luiziana Ferreira da Silva; José Gregório Cabrera Gomez; Rafael Costa Santos Rocha; Marilda Keiko Taciro; José Geraldo da Cruz Pradella, 2007. Produção biotecnológica de poli-hidroxialcanoatos para a geração de polímeros biodegradáveis no Brasil. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000700040. Acessado em: 20/11/2014.

[10] Antunes, Adriana Almeida. Chromobacterium violaceum: Caracterização cultural, bioquímica, molecular e detecção da produção de Polihidroxialcanoato – PHA. Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Mestrado em Ciências Biológicas. Recife – PE. 2006.

[11] E Lício, Daniela Carolina Pinto. Isolamento de Bactérias Produtoras de Polihidroxialcanoatos e Caracterização Molecular de sua PHA Sintase. Dissertação apresentado no Programa de Pós-Graduação Interunidades em Biotecnologia USP/Instituto Butantan/IPT. São Paulo - SP. 2011.

[12] Bogwava, Heique Marlise. Análise do polímero PHA em *Saccharomyces cerevisiae* recombinante: superexpressão de phaG, e a contribuição in vivodas enzimas auxiliares envolvidas na β-oxidação de ácidos graxos insaturados em peroxissomos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas – Bioquímica. Porto Alegre – RS. 2005.

[13] Macagnan, Karine Laste; Rodrigues, Amanda Ávila; Moreira, Angelita da Silveira; Moura, Andrea Bittencourt; Vendruscolo, Claire Tondo. Bioprospecção de Bactérias Potencialmente produtoras de Polihidroxialcanoatos. 21º Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. Pelotas – RS. 2012.

[14] Kachhawa, D. K., Bhattacharjee, P., Singhal, R. S.. Studies on downstream processing of pullulan. Carbohydrate Polymers. Departamento de Tecnologia em Alimentos e Fermentação, Instituto de Tecnologia Química, Universidade de Mumbai, Índia. 2003. Volume: 52. Páginas: 25-28.

[15] Shingel, K. I. (2004). Current knowledge on biosynthesis, biological activity, and chemical modification of the exopolysaccharide, pullulan. Carbohydrate Research, v. 339, p. 447-460.

[16] Campbell BS, Siddique A-BM, McDougall BM, Seviour RJ. Which morphological forms of the fungus *Aureobasidium pullulans* are responsible for pullulan production?. FEMS Microbiology Letters, 2004. Volume: 232. Tópico: 2. Páginas: 225-228.

[17] Sena, Amanda Reges; Koblitz, Maria Gabriela Bello; Neto, Aristóteles Góes; Uetanabaro, Ana Paula Trovatti. Seleção de fungos do Semi-Árido Baiano secretores de hidrolases de interesse em alimentos. 2006.

[18] Kim, J-H.; Kim, M-R; Lee, J-H.; Lee, J-W.; Kim, S-K. 2000. Production of high molecular weight pullulan by *Aureobasidium pullulans* using glucosamine.

Produção de PHB por Leveduras e Fungos LEVEDURIFORMES

Isabel Francine Mendes

Prof. Msc. Edielson Prevato Frigieri

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
isabelfrancinem@gmail.comInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
edielson@inatel.br

Andressa Giovana Nazaré da Costa

Prof. Dr. Francisco Eduardo de Carvalho
CostaInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
andressagiovana@geb.inatel.brInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
costafec@inatel.br

Resumo— As pesquisas científicas e industriais têm usado vários tipos de bactérias para a obtenção do bioplástico polihidroxibutirato (PHB). Empresas como a PHB Industrial S/A desde 1992 vêm estudando esse bioplástico que é aplicado em artefatos médicos e veterinários, embalagens e brinquedos. Porém, uma lacuna nessas pesquisas é o uso de leveduras e fungos para este fim. Este trabalho tem por objetivo identificar e selecionar estírpes de leveduras e fungos leveduriformes, bem como o melhor meio para o seu crescimento para a produção do bioplástico. As leveduras já identificadas apresentaram as seguintes produções: *Pichia* teve 30% de seus representantes com alta produção de PHB, *Hanseniaspora* 60% de média produção e *Candida* teve 100% de baixa produção.

I. INTRODUÇÃO

É indiscutível a expressiva produção brasileira de cana-de-açúcar e seus derivados como álcool, açúcar e etanol. Mas, destaca-se também a quantidade de resíduos que o agronegócio deposita após cada safra e consequente moagem. Desta forma, é de fundamental importância o desenvolvimento de novas alternativas para utilização e/ou eliminação dos subprodutos e resíduos da cana-de-açúcar. Uma das possibilidades consiste em associar à cadeia produtiva do etanol a fabricação de polihidroxialcanoato (PHA), um plástico biodegradável que pode ser produzido por microrganismos a partir do bagaço da planta [1].

Segundo dados do CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) a produção brasileira de cana de açúcar na safra 2014-2015 poderá atingir 671,69 milhões de toneladas. Deste total, 46,09% são esmagados para produção de açúcar e 53,89% para a produção de etanol. Esses dados demonstram a força do país no agronegócio e na produção de biocombustível: o Brasil é o segundo maior produtor de etanol,

perdendo apenas para os Estados Unidos. Além disso, o país vem se destacando na produção do etanol de segunda geração ou etanol celulósico que é obtido dos resíduos, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar [2].

Mesmo com o uso dos resíduos para a produção do etanol celulósico, há sobras que geralmente são queimadas. Uma alternativa para o uso desses resíduos vem sendo estudada, no Brasil, há mais de 20 anos e com bons resultados. Segundo Luiziana Ferreira da Silva, professora do Instituto de Ciências Biomédica da Universidade de São Paulo (ICB-USP), o PHA é um polímero biodegradável que pode ser extraído de certos microrganismos e pode ser moldado da mesma forma que os plásticos de origem petroquímica. Esse material tem interesse tanto para as indústrias quanto nas pesquisas científicas, pois, é ambientalmente correto, de fácil obtenção e moldável para várias aplicações. [1]. O principal representante dos PHAs produzido pelos microrganismos é o polihidroxibutirato (PHB) que pode substituir o plástico derivado do petróleo em produtos como barbeadores, embalagens, talheres descartáveis, fios de sutura entre tantos outros. Além disso tem a vantagem de se degradar rapidamente seu prejudicar o solo. Enquanto o plástico comum leva anos para se degradar, o PHB é completamente extinto em poucos meses [3].

Grânulos de PHB são acumulados por muitas espécies de bactérias gram-negativas, especialmente em meios com altas relações de carbono: nitrogênio e deficiência de fósforo [4].

O objetivo do trabalho é o estudo sobre a produção de PHB por leveduras e fungos [5], já que apresentam semelhanças com as bactérias como fermentação e crescimento celular. As leveduras e fungos utilizados no presente estudo foram provenientes da Coleção de Micro-organismos da UNESP de Rio Claro (aptos a crescerem em meio suplementado com bagaço de cana-de-açúcar) assim como de um estudo prévio da contaminação leveduriforme de aparelhos de ar condicionado de um hospital da região.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas 39 leveduras provenientes da UNESP e oito amostras dos aparelhos de ar condicionado do Hospital Antônio Moreira da Costa, previamente coletadas.

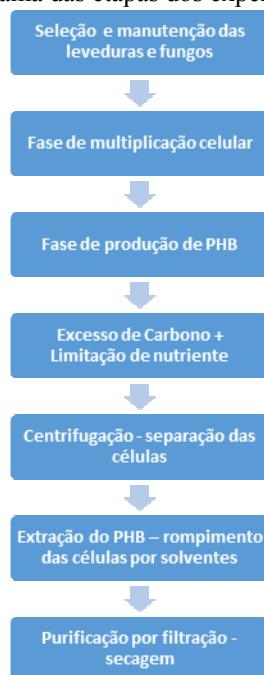
A observação de grânulos de PHB foi realizada de acordo com o uso de corante *Sudan Black B* [6]. O processo se inicia com o cultivo das leveduras em meio Agar Sabouraud a 35 °C por 72 horas; a seguir fez-se um esfregaço da levedura; o esfregaço foi coberto com o corante *Sudan Black B* e depois de seco observado em microscópico ótico com 1000 X de aumento.

A presença de PHB nos isolados testados foi feita com meio Agar Sabouroud (1,0 litro) contendo dimetil sulfóxido (0,5 g de DMSO) mais 0,25 g de corante Vermelho do Nilo. As estirpes foram inoculadas na superfície do meio e incubadas por 72 h a 35 °C.

Após crescimento de todas as leveduras, as placas foram colocadas sob luz UV [7] para verificar a fluorescência nas estirpes positivas.

A extração e quantificação do PHB foram realizadas de acordo com [8], substituindo o meio pelo Agar Sabouraud e mantendo as mesmas condições de incubação anteriormente descritas.

Abaixo o fluxograma das etapas dos experimentos:



Fluxograma 1: Etapas dos experimentos

Também foi utilizado o Diagrama de Ishikawa, que é uma ferramenta de qualidade (causa e efeito), para se determinar as causas potenciais de determinado problema ou oportunidade de melhoria, bem como seus efeitos sobre a qualidade dos produtos [9].

III. RESULTADOS

Das 47 estirpes de leveduras estudadas (39 leveduras provenientes da UNESP e oito amostras dos aparelhos de ar condicionado do Hospital Antônio Moreira da Costa) a maior parte apresentou uma produção média de grânulos de PHB (Figura 1), evidenciados pela coloração com o Sudam Black (Figuras 2 e 3).

O critério utilizado para definir a produção foi qualitativo pela área coberta com os grânulos de PHB. Consideramos que:

- Cobertura da área acima de 70%: Alta produção
- Cobertura da área entre 70% e 20 %: Média produção
- Cobertura da área abaixo de 20%: Pouca produção



Fig. 1: Resultados para a produção de PHB para as leveduras testadas em meio Agar Sabouraud.



Fig. 2: Levedura L4D produziu muito PHB



Fig. 3: Levedura L6D produziu pouco PHB

As estirpes leveduriformes de origem hospitalar apresentaram uma maior porcentagem de excelentes produtoras de grânulos de PHB (Figura 4).

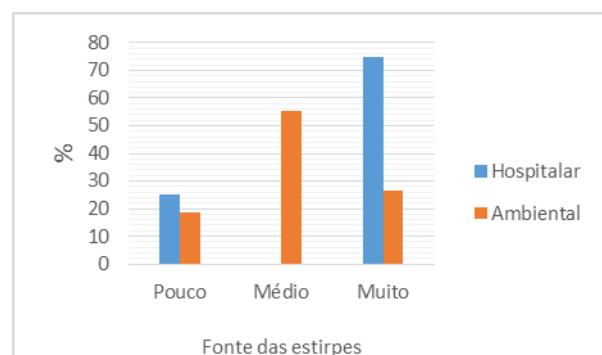


Figura 4 – Comparação da produção de grânulos de PHB em meio Agar Sabouraud de acordo com a origem das estirpes leveduriformes.

Este é o primeiro estudo a prospectar a produção de PHB em leveduras de origem hospitalar e observar a grande ocorrência de estirpes com positividade para a produção do PHB.

Das leveduras identificadas em nível de espécie e agrupadas pelo gênero, apenas as pertencentes ao gênero *Pichia*, da espécie *Pichia kudravizevii*, apresentaram bons resultados para a produção de PHB (Figura 5).

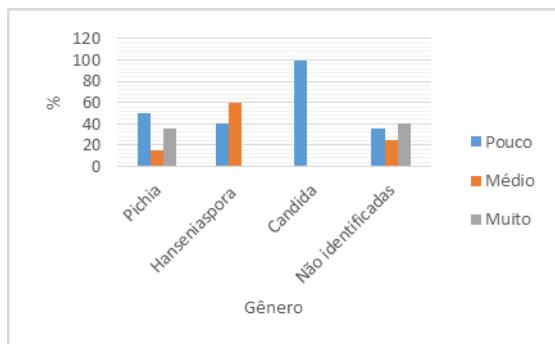


Fig. 5 – Comparação da produção de grânulos de PHB em meio Agar Sabouraud de acordo com o gênero das estirpes leveduriformes.

O uso de Dimetil sulfóxido (DMSO) e corante Vermelho do Nilo na preparação do meio de cultura Agar Sabouraud para a observação da produção de PHB apresentou uma positividade muito inferior ao uso do Sudam Black (Figura 6).

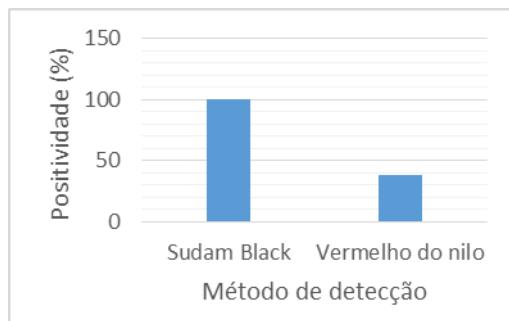


Fig. 6 – Positividade para a detecção de grânulos de PHB para os dois métodos testados.

O uso do método baseado no vermelho do Nilo para a detecção de PHB inverteu a proporcionalidade de estirpes produtoras de PHB, passando as de origem ambiental a serem considerados melhores alvos prospecção, mas ainda assim com baixa produtividade se comparado ao corante *Sudan Black B* (Figura 7).

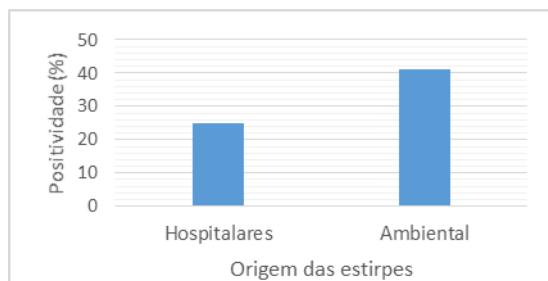


Fig. 7 – Positividade para a detecção de grânulos de PHB para os dois métodos testados de acordo com a origem das estirpes.

As estirpes anteriormente positivas para a presença de grânulos de PHB pela coloração com o Sudam Black devem produzir outros compostos hidrofóbicos. Estes podem ser encontrados em leveduras produtoras de biodiesel.

As leveduras que tiveram resultados positivos expressivos pelo método com coloração pelo Sudam Black foram crescidas em meio líquido para a obtenção de massa celular a fim de extraír o PHB.

Foram escolhidas as leveduras L1 e L19, que tiveram a sua concentração celular quantificada e ajustada por espectrofotometria antes de servirem de inoculo em frascos contendo 10 ml de meio.

Apesar das leveduras testadas terem apresentado um bom crescimento (Figura 8) este forneceu pouca massa celular seca após filtragem e secagem (Figura 9).

Levedura	Absorbância
L1A	1,95
L1B	1,94
L1C	1,93
L1D	1,92
L19A	1,92
L19B	1,91
L19C	1,89
L19D	1,89

Fig. 8 - Leveduras e suas absorbâncias após crescimento em meio Sabouraud líquido a 35º C por 72 h.

Levedura	Pote vazio	Pote com as leveduras
L1A	85,634	85,7065
L1B	85,677	86,049
L1C	85,874	86,045
L1D	85,881	86,003
L19A	85,824	85,844
L19B	86,0415	86,05
L19C	85,714	85,742
L19D	85,925	85,96

Fig. 9 – Massa celular.

Procedeu-se a extração com clorofórmio e não foi observada formação de filme plástico, concluindo que a quantidade de células foi insuficiente.

Um novo método para rápido crescimento das leveduras foi testado. Para tanto foi feito meio líquido *Sabouraud* e armazenado em um *Erlenmeyer* e oxigenado com o auxílio de uma pedra porosa conectada a um filtro (previamente

esterilizado) e só então conectada a uma bomba de ar (do mesmo modo que é feito em aquários).

A oxigenação do meio é de extrema importância, pois permite a multiplicação das leveduras em função da aerobiose. Ela permite maior velocidade da multiplicação celular e inibição das leveduras anaeróbicas que não são interessantes na produção de PHB [10].

Segundo a montagem anteriormente descrita, foi inoculada a levedura L1. Ela foi oxigenada durante trinta minutos de oito em oito horas durante uma semana. Após esse tempo foi pipetado 10 ml em seis tubos, que foram centrifugados em velocidade máxima por 10 minutos. Em seguida o excesso de meio foi levado ao agitador para que a levedura se descolasse do tubo. Ela foi colocada em um pote previamente pesado (85,8044g) e novamente pesada (87,6153).

A levedura que estava misturada com clorofórmio foi agitada durante uma hora e trinta minutos. Em seguida o líquido foi filtrado e armazenado numa placa de Petri tampada. Foi deixado para descansar até o clorofórmio evaporar. Não foi observada formação do bioplástico. O trabalho foi descartado e o processo foi repetido com outras duas leveduras (11 e 45 da UNESP). Depois de 48 horas essas leveduras foram analisadas e novamente não foi detectado formação de PHB.

Estes resultados são interessantes, pois as leveduras 11 e 45 apresentaram positividade para os dois métodos de detecção de PHB. O mesmo meio foi mantido e, no entanto mesmo com uma maior massa celular, não foi detectado o bioplástico.

O filme de PHB é formado em condições de crescimento não balanceadas onde há limitação de um nutriente (fonte de nitrogênio, fósforo, etc.) e excesso da fonte de carbono (glicose, entre outros). Esse momento é de grande influência sobre a produção do polímero, pois a massa residual pode ser inibida ou maximizada dependendo do suplemento nutricional.

Vários autores pesquisaram diferentes desbalanço nutricionais, como pode ser observado em [11], porém utilizando bactérias e não leveduras. Nessa referência podemos observar, por exemplo, que Liu *et al* estudaram melaço de cana de beterraba como única fonte de carbono e concluíram que altas concentrações desse melaço resultaram em altos conteúdos de PHB. Esses autores realizaram seus experimentos em estirpes de bactérias que apresentam características semelhantes às leveduras e aos fungos leveduriformes.

IV. CONCLUSÕES

As leveduras são potenciais produtoras de PHB. Porém, os métodos de extração do biofilme utilizados neste trabalho não foram satisfatórios. A alternativa é a pesquisa de novos métodos e de novas estirpes de fungos e leveduras que produzam PHB suficiente para quantificação e otimização da produção.

A otimização da produção de PHB (variável dependente) será realizada utilizando-se três variáveis independentes: concentração de glicose, concentração de amônio (ou outro nutrinete) e pH. O estudo envolverá a aplicação de RSM (Metodologia de Superfície de Resposta) com o uso de DCCR

através do modelo 23 fatoriais com oito ensaios lineares (níveis +1 e -1), três réplicas no ponto central (nível 0) e seis pontos axiais (com $\alpha = \pm 1,68$) [12].

A análise dos dados de isolamento de fungos filamentosos e leveduriformes será conduzida usando o software R (Copyright (C) 2012 The R Foundation for Statistical Computing) com a análise das variâncias ($P < 0,05$). Os dados serão avaliados separadamente, mas sempre entre dois grupos distintos. As variáveis serão submetidas à análise descritiva expressa através da média e do desvio padrão. Após a análise descritiva será realizado o teste T-Student de comparação de medias com populações independentes, comparando as diversas amostras [12] e [13].

V. DISCUSSÃO

Nesse projeto foram usados dois métodos para detecção de produção de PHB, e em ambos foram obtidos resultados positivos para a maioria das leveduras. Porém a quantidade de filme foi insuficiente para realização do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Diante desses resultados foram analisados possíveis erros no processo, utilizando o Diagrama de Ishikawa. Os possíveis erros são:

Mão de obra: Toda pesquisa científica e laboratorial da produção de PHB foi realizada pela aluna com orientação do professor-orientador Francisco Costa. Muitas das vezes ocorreu contaminação do meio de cultura, pois a mesma não estava familiarizada com os métodos de microbiologia;

Métodos: Utilizou-se o mesmo método aplicado às bactérias gram-negativas. Pode ter sido uma escolha ruim, já que as leveduras e fungos têm propriedades diferentes das bactérias;

Medição: os equipamentos mais utilizados como estufa, autoclave e espectrofotômetro eram ligados diretamente na rede elétrica e muitas vezes houve queda do fornecimento de energia elétrica, o que pode ter prejudicado o crescimento das leveduras e consequentemente sua produção de PHB;

Matéria prima: As leveduras usadas no experimento foram escolhidas ao acaso, sem nenhum critério científico, logo não foi possível determinar antecipadamente quais produziam mais ou menos. Já os corantes foram os mesmos utilizados para bactérias, o que pode ter sido uma escolha incorreta.

Máquinas: Os equipamentos utilizados, já citados, eram utilizados por muitos alunos e constantemente estavam descalibrados e desregulados, o que pode ter interferido nos dados.

Meio ambiente: Como já citado, o Laboratório de Bioquímica é frequentado por vários alunos. Não é um ambiente estéril nem com temperatura controlada. Esses fatores podem ter causado instabilidade à produção do bioplástico.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores mestre Edielson Prevato Frigieri e doutor Francisco Eduardo Carvalho Costa pelas orientações ensinadas e amizade; a aluna Andressa Costa que contribuiu significativamente com esse trabalho e que dará continuidade

ao mesmo. E a Fundação de Amparo e Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) por financiar a iniciação científica que deu origem a esse trabalho.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] http://agencia.fapesp.br/cientistas_querem_associar_fabricacao_de_bio_plasticos_a_cadeia_de_producao_do_etanol/15936/.
- [2] Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, abril/2014 - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2014-2015.
- [3] <http://www.materia.coppe.ufrrj.br/sarra/artigos/artigo10621>
- [4]
- [5] TELLES, M.R.; SARAN, L.M.; UNÉDA-TREVISOLLI, S.H. Produção, propriedades e aplicações de bioplástico obtido a partir da cana-de-açúcar. Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, 2(1): 52-63. 2011.
- [6] BATOOL, N., ILYAS, N. Polyhydroxyalkanoates from plants and microorganism. International Journal of Biosciences | IJB | ISSN: 2220-6655 (Print) 2222-5234 (Online). <http://www.innspub.net>. Vol. 5, No. 1, p. 298-307. 2014.
- [7] LELLIOT, R. A., STEAD, D. E. 1987. Methods for the diagnosis of bacterial diseases of plants. Palo Alto, Blackwell, 1^a ed., 216 p. (páginas 171-172).
- [8] SPIEKERMANN, P.; REHM, B. H.; KALSCHEUER, R.; BAUMEISTER, D.; STEINBÜCHEL, A. "A sensitive, viable-colony staining method using Nile red for direct screening of bacteria that accumulate polyhydroxyalcanoic acids and other lipid storage compounds," Archives of Microbiology, vol. 171, no. 2, pp. 73-80, 1999.
- [9] DALCANTON, F. Produção, Extração e Caracterização de Poli (3-Hidroxibutirato) por Ralstonia eutropha em diferentes substratos. 2006. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- [10] TRIVELLATO, A.A. *Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso de uma empresa de autopartes. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010*
- [11] MARTINI, C. Isolamento, identificação e caracterização de linhagem de levedura quanto ao crescimento e fermentação utilizando meios sintéticos com pentoses e hidrolisados de bagaço de cana-de-açúcar. Tese de Doutorado. UNESP. Março de 2014. Rio Claro, 2014.
- [12] SQUIO, C. R. and ARAGAO, G. M. F. *Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-Hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) por bactérias*. Quím. Nova [online]. 2004, vol.27, n.4, pp. 615-622. ISSN 0100-4042.
- [13] RODRIGUES, M. I., IEMMA, A. F. Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos. 2^a Ed. – Campinas, SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2009.
- [14] CHI, Z., ZHAO, S. (2003). Optimization of medium and cultivation conditions for pullulan production by a new pullulan-producing yeast strain. Enzyme na Microbial Technology, 33: 206–211.

Análise do Uso de Diferentes Detergentes Laboratoriais para Lavagem de Artigos Hospitalares

Francisco Eduardo de Carvalho
Costa

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
costafec@inatel.br

Diego Vieira Pereira

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
diegovieira@geb.inatel.br

Larissa Mayra Silva Ribeiro

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
larissa.ribeiro@geb.inatel.br

Resumo — Este artigo se refere a uma metodologia prática realizado em laboratório que consiste em verificar a eficácia e a eficiência do uso de detergentes laboratoriais na limpeza de artigos hospitalares. Há uma comparação entre detergente normal usado no Hospital Antônio Moreira da Costa, em Santa Rita do Sapucaí, MG e um tipo de detergente enzimático. A análise feita consiste em seu resultado qual dos tipos de detergente se mostraram melhores para a limpeza e desinfecção de artigos, visando a diminuição de ocorrências de infecção hospitalar causada por erros no processo de higienização de material hospitalar.

Palavras-chave—Esterilização, detergente enzimático, controle de infecção hospitalar.

I. INTRODUÇÃO

A ocorrência de Infecção Hospitalar (IH), está cada vez mais preocupando profissionais da saúde no contexto do tratamento de pacientes. Na maioria das vezes, esta pode ser prevenida com ações simples, como lavagem das mãos e ações mais complexas, como a limpeza e esterilização de materiais para serem utilizados em procedimentos hospitalares. [1, 2, 3].

Assim, todos os profissionais da área da saúde são responsáveis pelos processos e resultados do controle de IHs. Boas práticas assistenciais de funcionários de Estabelecimento Assistencial à Saúde (EAS), como a lavagem correta das mãos, uso de EPI's e o processamento de superfícies e artigos hospitalares, resultam na diminuição dos riscos de infecções hospitalares e ao mesmo tempo, auxiliam os Programas de Prevenção e Controle de Infecção Hospitalar. [3]

Nos EAS, existem as Centrais de Materiais e Esterilização (CME), é uma unidade vital e fundamental que buscam apoiar todas as unidades dentro de um hospital, onde são responsáveis pelo processo de limpeza, desinfecção e esterilização de artigos médicos e depois distribuí-las para cada setor. [3]

Nas CMEs, os processos de limpeza estão se tornando cada vez mais trabalhados, visando uma qualidade maior na remoção da sujidade dos artigos hospitalares. Para tal, são usados detergentes que atuam retirando parte dos microrganismos presentes na superfície do artigo.

A. Limpeza realizada com detergentes neutros e enzimáticos

A limpeza de artigos hospitalares pode ser realizada de diversas formas, sendo manual ou mecânica, utilizando métodos químicos – detergentes destinados a limpeza – e físicos. [4, 5]

Na limpeza neutra, utiliza-se detergentes neutros destinados à uso geral. Estes detergentes não atuam por reação química e sua ação resulta na combinação de suas propriedades e a mecânica de esfregar. Assim, sua ação pode não ser tão eficaz na remoção de microrganismos aderidos à superfície de utensílios hospitalares. [6]

Na limpeza utilizando detergentes enzimáticos, as enzimas presentes no detergente atuam de forma específica sobre determinado tipo de sujidade, sendo adequados para sujidades a base de proteínas, gorduras ou hidratos de carbono. [6]

Deste modo, o objetivo deste trabalho é verificar a eficiência e a eficácia de ambos detergentes utilizados nas CMEs.

II. METODOLOGIA

Para realizar a experiência prática desse projeto, foram utilizados tubos de ensaio de materiais de vidro e tubos de centrífuga em polipropileno, representando os artigos médicos. Além destes, foram utilizadas soluções de albumina, para análise de proteínas aderidas à superfície dos tubos, os quais foram dosados e analisados no espectrofotômetro. O trabalho foi realizado em duas etapas:

Etapas 1: Limpeza Manual com Detergente Neutro

Nesta etapa, os tubos com resíduos de albumina foram divididos em lotes para a realização do projeto:

Os tubos foram preenchidos com 10 mL de solução salina adicionada de 3,5 g de albumina (mesma quantidade presente no soro humano) e deixados para repousar por 20 minutos. A seguir, os tubos foram esvaziados e deixados para secar a temperatura ambiente. Após secos, os tubos foram divididos em três lotes: o lote controle, sem molho e sem limpeza; o lote deixado de molho em água destilada adicionado à 5 mL de detergente neutro e lavados posteriormente e, por último, o lote lavado (sem molho) em solução de água destilada somado ao mesmo detergente.

Após esse processo de lavagem, os tubos foram deixados para secar a temperatura ambiente. Depois de secos, todos os tubos, incluindo o lote controle, foram adicionados a 5mL de solução salina, agitados em vortex por 30 segundos e destes foram retiradas as amostras a serem dosadas pelo método do Biureto.

As leituras realizadas no espectrofotômetro para a dosagem de proteína, foi realizada em um comprimento de onda de 545 nm.

O detergente neutro usado nesta etapa, foi recolhido do Hospital Antônio Moreira da Costa, em Santa Rita do Sapucaí, MG.

- Detergente neutro utilizado:

Marca Lan 30; Fab.: 09/14 (MM/AA); Val.: 24 meses.

Etapas 2: Limpeza Manual com Detergente Enzimático

Nesta etapa, os tubos com resíduos de albumina foram divididos em lotes para a realização do projeto:

Os tubos foram preenchidos com 10 mL de solução salina adicionada de 3,5 g de albumina (mesma quantidade presente no soro humano) e deixados para repousar por 20 minutos. A seguir, os tubos foram esvaziados e deixados para secar a temperatura ambiente. Após secos, os tubos foram divididos em três lotes: o lote controle, sem molho e sem limpeza; o lote deixado de molho em água destilada adicionado à 5 mL de detergente enzimático e lavados posteriormente e, por último, o lote lavado (sem molho) em solução de água destilada somado ao mesmo detergente.

Após esse processo de lavagem, os tubos foram deixados para secar a temperatura ambiente. Depois de secos, todos os tubos, incluindo o lote controle, foram adicionados a 5mL de solução salina, agitados em vortex por 30 segundos e destes foram retiradas as amostras a serem dosadas pelo método do Biureto.

As leituras realizadas no espectrofotômetro para a dosagem de proteína, foi realizada em um comprimento de onda de 545 nm.

- Detergente enzimático utilizado:

Marca: Riozyme IV-E Neutro Gold 1 L; Fab.: 05/2014; Val.: 24 meses.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aderência da glicose a superfície dos tubos não sofreu a influencia do material, sendo ele vidro (34,24 mg/dl) ou plástico (39,12 mg/dl). O mesmo foi observado para a aderência da albumina na superfície do vidro (8,57 mg/dl) ou plástico (8,59mg/dl).

O uso do detergente enzimático não apresentou eficácia na limpeza das proteínas da superfície dos tubos em vidro, mas apresentou-se eficaz na remoção de açúcares. (Tabela 1)

Tabela 1 – Eficácia da remoção de proteínas da superfície do vidro com o uso do detergente enzimático.

Tratamento	Proteína (mg/dl)	Glicose (mg/dl)
Sujo	8,57 a	34,24 a
Limpeza simples	8,60 a	21,20 b
Limpeza após molho	8,60 a	20,28 b

Valores seguidos pela mesma letra são iguais pelo Teste de Tukey, alpha: 0.05 ; Df Error: 24.

O resultado obtido para a remoção de proteínas da superfície de vidro com o detergente enzimático não está conforme o esperado uma vez que na composição deste está a presença de protease (enzima que destrói proteínas). Este resultado pode ter ocorrido por causa do uso de banho termostático a 35°C, o que não consta na ficha do fabricante. A escolha desta temperatura foi devido ao fato de a maior parte das enzimas comerciais apresentar temperatura ótima de ação de 35 °C.

Não foi observada diferenças entre a vidraria limpa após a secagem e aquela que ficou de molho para a remoção da glicose. (Tabela 1)

O uso do detergente enzimático apresentou eficácia na limpeza de glicose e proteínas da superfície do polipropileno (Tabela 2). Sendo que a necessidade do molho antes da lavagem para melhorar a remoção de sujidade é evidente na retirada da glicose.

Tabela 2 – Eficácia da remoção de proteínas da superfície do polipropileno com o uso do detergente enzimático.

Tratamento	Proteína (mg/dl)	Glicose (mg/dl)
Sujo	8,59 a	39,12 a
Limpeza simples	7,73 b	30,20 a,b
Limpeza após molho	7,73 b	16,88 b

Valores seguidos pela mesma letra são iguais pelo Teste de Tukey, alpha: 0.05 ; Df Error: 24.

IV. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FUTURAS

O uso do detergente enzimático foi superior na remoção de resíduos da superfície plástica. Nenhum dos tratamentos conseguiu uma limpeza de alto grau.

V. REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Segurança do paciente em serviços de saúde: limpeza e desinfecção de superfícies/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2010. 116 p. Disponível em: < <http://portaldanvisa.gov.br/wps>

- /wcm/connect/4ec6a200474592fa9b32df3fb4c6735/Manual+Limpeza+e+Desinfeccao+WEB.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em 02 de fevereiro de 2014.
- [2] Coordenação de Controle de Infecção Hospitalar CCIH/HUCFF/UFRJ. “Esterilização de Artigos Em Unidades Hospitalares”. Disponível em: <<http://www.hucff.ufrj.br/download-de-arquivos/category/9-ccih?download=249:orientacoes-e-recomendacoes>>. Acesso em: 01 jan. 2014.
- [3] Pereira, M S.; Souza, ACS.; Tipple, AFV.; Prado, MA. “A Infecção Hospitalar e suas Implicações para o Cuidar da Enfermagem”. Goiás. Texto Contexto Enferm 2005 Abr-Jun; 14(2):250-7. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tce/v14n2/a13v14n2.pdf>>.
- [4] Graziano KU, Balsamo AC, Lopes CLBC, Zotelli MFM, Couto AT, Paschoal MLH. Critérios para avaliação das dificuldades na limpeza de artigos de uso único. Rev Latino-am Enfermagem 2006 janeiro-fevereiro; 14(1):70-6.
- [5] Sheidt, K.L.S.; Rosa, L.R.S.; Lima, E.F.A. “As Ações de Biossegurança Implementadas pelas Comissões de Controle de Infecção Hospitalar”. R Enferm UERJ, Rio de Janeiro, 2006 jul/set; 14(3):372-77.
- [6] Baptista, P. “ Higienização de Equipamentos e Instalações na Indústria Agro-Alimentar”. Forvisão- Consultoria em Formação Integrada, Lda., 2003, 1^a edição.

Aplicação e Desenvolvimento em Robótica e Inteligência Artificial

Alexandre Baratella Lugli, Camila Sales Pinto, Diego A. Lemes, Haroldo M. Dornelas, José Lucas de L. Pereira, Luis Filipe de O. Carvalho, Mariana de S. L. Padinha, Monique F. C. Paduan e Wanderson E. Saldanha.
INATEL – Instituto Nacional de Telecomunicações.

Resumo — Esse trabalho descreve a evolução e programação dos jogadores do futebol de robô, modalidade 2D, virtual, visando a participação em um congresso. O objetivo é apresentar a equipe RobotBulls, do INATEL, além da programação dos elementos do jogo, plataforma de aplicação e alguns comandos utilizados para a realização do desenvolvimento do trabalho.

Palavras-chave — Futebol de robô, programação, simulação.

I. INTRODUÇÃO

A equipe Robotbulls foi idealizada pelos alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL, durante o ano de 2013. O objetivo da equipe é promover o estudo e pesquisa da robótica para o aprimoramento do conhecimento, auxílio no desenvolvimento de soluções inovadoras e de novas tecnologias.

O objetivo do trabalho é estudar, aplicar e desenvolver as técnicas de programação, a fim de desenvolver robôs virtuais para participação em eventos de pesquisa e desenvolvimento, motivando a busca por soluções inovadoras.

O trabalho é direcionado para o desenvolvimento de uma aplicação de futebol de robôs, modalidade de simulação 2D (2 dimensões), utilizando como base diversas técnicas de programação, visando implementar as possíveis jogadas que cada jogador pode executar no campo. É disponibilizado livremente na internet um time modelo com características básicas dos jogadores, chamado de time base. A partir do time base cada equipe programa comportamentos nos jogadores a fim de melhorar seu desempenho e estratégia em campo. Essa programação deve também possibilitar que cada jogador seja dotado de um grau de inteligência artificial (IA) que lhe permita prever uma possível jogada do adversário e, então, ser capaz de tomar uma atitude prévia. Os jogadores programados, denominados agentes, são: goleiro, defensores, meio campistas, atacantes e técnico, de acordo com as regras e regulamentações disponíveis em [1].

Segundo [5]: “A RoboCup é uma organização internacional criada para promover a Inteligência Artificial (IA) e a robótica. É uma tentativa de acelerar as pesquisas de IA e inteligência robótica, provendo assim um problema padrão onde uma grande quantidade de tecnologias podem ser desenvolvidas, integradas e examinadas. A RoboCup escolheu o jogo de futebol como o principal tópico de pesquisa, procurando inovações que podem ser aplicadas em

problemas sociais significantes e na indústria. O objetivo principal do projeto RoboCup é que até 2050, seja desenvolvido um time de robôs humanóides, totalmente autônomos, e que podem ganhar dos melhores jogadores humanos.”

A Figura 1 ilustra o logotipo da equipe Robotbulls.

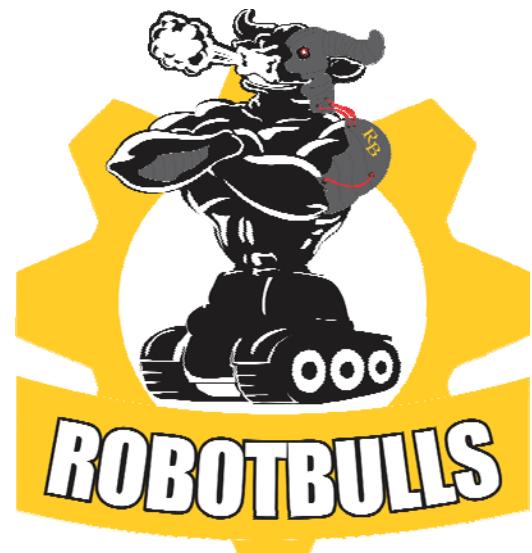


Figure 1. Equipe Robotbulls.

A Figura 2 ilustra, de forma simples, a disposição dos jogadores do time base. O time base é um time padrão, sem a implementação de nenhuma lógica de controle, utilizado para testes de validação apenas.



Figure 2. Jogadores no campo de simulação 2D.

II. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para a realização da programação do ambiente virtual da categoria 2D, é necessário a utilização do sistema operacional Linux, programa responsável pelo funcionamento do computador. Já para o desenvolvimento dos jogadores é utilizado o *Ubuntu*, sistema operacional baseado no Linux com foco na facilidade de uso.

O *Ubuntu* é desenvolvido pela comunidade e é perfeito para notebooks, desktops e servidores. [2]

O *Ubuntu* possui uma documentação muito extensa e completa. Uma das documentações disponíveis é o Guia Desktop *Ubuntu*. O guia contempla uma introdução ao mundo *Ubuntu*, abordando comandos básicos, tarefas comuns e como configurar o sistema operacional. Para aqueles que estão iniciando no *Ubuntu* é uma leitura indispensável, imprescindível e o mais importante, acessível com apenas alguns cliques do mouse a partir do menu Sistema no seu desktop. [2]

A categoria de futebol de robô 2D utiliza, como base de programação dos elementos, a linguagem de programação C++ sobre o sistema operacional *Ubuntu* Desktop 12.04 LTS 64bits (*Precision*). [2]

A. Elementos do Jogo

Para se realizar um jogo é necessário ter, no mínimo, os seguintes agentes: goleiro, jogadores, técnico e o campo.

Cada agente possui uma visão do jogo, conforme ilustrado na Figura 3, que pode ser alterada e programada pelo desenvolvedor.



Figure 3. Ilustração da visão de jogo de um jogador na categoria 2D.

A Figura 4 ilustra como é visto o corpo de um agente no momento do jogo. O agente nada mais é do que um jogador do time. Nesse agente, é possível implementar uma lógica de controle, a fim de realizar alguma tarefa específica. Além disso, ele possui uma visão limitada em relação ao campo de jogo.

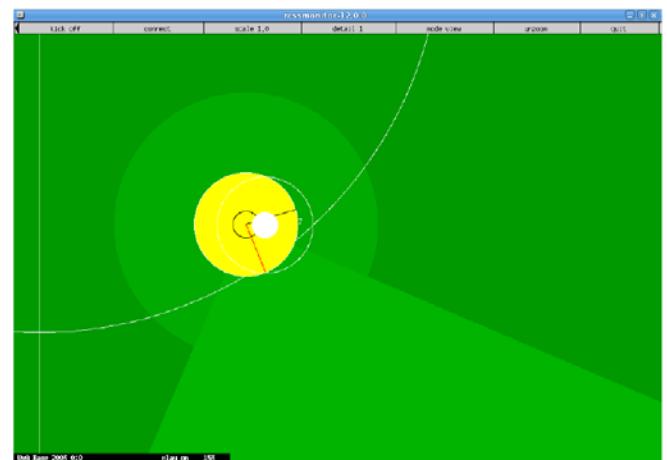


Figure 4. Corpo do jogador na categoria 2D.

B. Estratégias e Programação

A programação orientada a objetos surgiu com o principal objetivo de unir os dados e funções em um único elemento: o objeto. Esta metodologia traz uma série de vantagens sobre linguagens de programação procedural, como o C, conforme listado a seguir [3].

- Reusabilidade: as classes que compõem um sistema podem ser aproveitadas em outros sistemas, sem qualquer alteração, pois dados e funções estão contidos dentro da classe. Caso haja necessidade, podem-se criar novas classes baseadas em outras já existentes, herdando as características da classe pai.
- Encapsulamento: proteção dos dados contra alterações indevidas. O encapsulamento mantém escondidos dados e métodos do objeto. Pode-se explicitamente declarar o grau de visibilidade de atributos e métodos.
- Produtividade: A partir do momento que temos a disposição uma coleção de classes devidamente testadas e com um funcionamento a prova de erros, para criar novos sistemas, basta usar estas classes, sem nenhuma necessidade de reescrever e adaptar código. Isto dá, sem sombra de dúvida, maior rapidez e, consequentemente, produtividade no desenvolvimento de sistemas. A Linguagem C++ é uma extensão da linguagem C que incorpora recursos de Orientação a Objetos. [3]

A seguir, ilustra-se parte do código de programação básica de um dos jogadores do time. Onde se evidencia a lógica contendo a posição do jogador e os testes para a realização do chute da bola.

```
"if ( agent->world().time().cycle()
    > agent->world().self().catchTime().cycle() +
ServerParam::i().catchBanCycle()
    && agent->world().ball().distFromSelf() <
ServerParam::i().catchableArea() - 0.05
    && our_penalty.contains( agent->world().ball().pos() ) )
{
```

```

dlog.addText( Logger::ROLE,
    _FILE_ ": catchable. ball dist=%1f,
myCatchable=%1f",
    agent->world().ball().distFromSelf(),
    ServerParam::i().catchableArea() );
agent->doCatch();
agent->setNeckAction( new Neck_TurnToBall() );
}

else if ( agent->world().self().isKickable() )
{ doKick( agent ); }
else
{ doMove( agent );
}

```

III. LÓGICA FUZZY

Além da programação estruturada e orientada a objetos, também é possível utilizar a técnica de inteligência artificial chamada de Lógica Fuzzy (Lógica Difusa).

Esse sistema lógico vai além da Lógica Booleana, onde temos apenas dois valores lógicos: o FALSO (0) e o VERDADEIRO (1). A Lógica Fuzzy possibilita a utilização de valores lógicos intermediários. Isto significa que um valor lógico difuso é um valor qualquer no intervalo de valores entre 0 e 1. [4]

O que diferencia a Lógica Fuzzy da lógica booleana é a capacidade desta de se aproximar do mundo real onde não existem somente respostas extremas. A Lógica Fuzzy fornece espaço ao meio termo apresentando ainda a possibilidade de mensurar o grau de aproximação da solução exata e assim inferir algo que seja necessário. [4]

Quando um determinado problema apresenta um grande grau de incerteza é necessário que para solução deste se utilize um modelo matemático que conte com essa especificidade e não desconsidere aspectos que possam ser ignorados na aplicação de lógicas tradicionais. Para esses casos a Lógica Fuzzy é amplamente recomendada, pois apresenta um modelo capaz de combinar a imprecisão associada aos eventos naturais e o poder computacional das máquinas produzindo assim sistemas de respostas inteligentes. [4]

Um dos grandes objetivos inerentes à Lógica Fuzzy é se aproximar em sua lógica, da forma com que o raciocínio humano relaciona as informações buscando respostas aproximadas aos problemas, por isso o grande foco desta lógica é a solução de problemas cujas informações recentes sejam incertas.

Na Figura 5 é apresentada a representação de um sistema difuso, contendo os seus principais componentes.

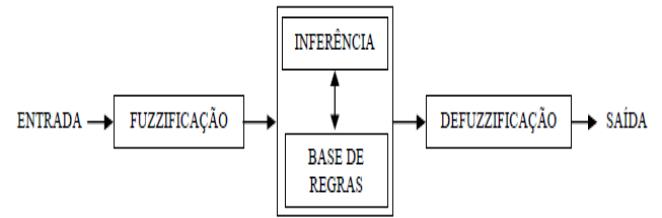


Figura 5. Componentes de um sistema baseado em Lógica Fuzzy. [5]

A *fuzzificação* do Sistema Lógico Fuzzy consiste analise do problema e os dados de entrada são transformados em variáveis linguísticas. O processo de inferência consiste na elaboração de regras definidas para a execução da lógica. A *defuzzificação* é a etapa em que os valores Fuzzy são convertidos em números reais tendo assim um conjunto de saída matematicamente definido. [5]

A. Aprendizado por Reforço

Aprendizado com reforço é baseado na idéia de que, se uma ação é seguida de estados satisfatórios, ou por uma melhoria no estado, então a tendência para produzir esta ação é aumentada, isto é, reforçada. Estendendo-se esta idéia, ações podem ser selecionadas em função da informação sobre os estados que elas podem produzir, o que introduz aspectos de controle com realimentação. [8]

Uma forma de modelar problemas de aprendizado com reforço é utilizar o Processo de Decisão de Markov, ilustrado na Figura 6.

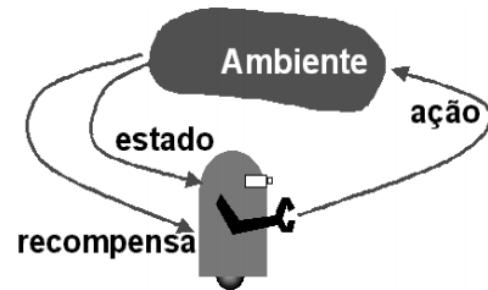


Figura 6. Modelo padrão de aprendizado com reforço. [8]

Três sinais passam de um lado para outro entre o agente e o ambiente, como é mostrado na Figura 6, caracterizando o problema de aprendizagem: um sinal para representar as escolhas feitas pelo agente, um sinal que indica o estado do ambiente e um sinal para definir as metas do agente, representando respectivamente as ações, estados do ambiente e as recompensas. [8]

Na estrutura da aprendizagem com reforço, o agente faz suas decisões com base num sinal do ambiente chamado de estado do ambiente. Caso um estado contenha toda a informação relevante, então ele é chamado de *Markov* ou que

tem a propriedade de *Markov*. Pode-se observar esta propriedade na velocidade e posição atuais de uma bola de canhão, observando que estas informações são suficientes para determinar seu vôo futuro, não importando com que velocidade saiu e de que posição veio; o que for importante será obtido do estado corrente. [8]

IV. RESULTADOS PARCIAIS

Os testes de validação foram realizados ao longo do ano, após a equipe ter estudado as regras do jogo, comportamentos dos jogadores e o funcionamento do sistema. A partir do time base padrão foram desenvolvidos alguns times, testados entre si para definir o time que obtivesse melhor desempenho dentre os demais, logo o time oficial foi definido e testado com outros times disponibilizados por competidores de campeonatos anteriores. Alguns dos resultados parciais estão ilustrados na Tabela I.

Tabela I. Resultados parciais.

Time Left	x		Time Right
Robotbulls_final	5	x	Robotbulls_antigo
agentAlterado	2	x	Robotbulls_final
agentAlterado	0	x	Robotbulls_final
RobotBulls-final	0	x	Infographics
RobotBulls-final	7	x	agent2d(base)
RobotBulls-final	7	x	wBomberman
wBombeman	1	x	RobotBulls-final
RobotBulls-final	2	x	Ri-One(rc2014)
RobotBulls-final	2	x	Enigma (rc2014)
RobotBulls2D-CBR2014	6	x	time-comparativo
RobotBulls2D-CBR2014	1	x	HELIOS_BASE-3.1.0
HELIOS_BASE-3.1.0	0	x	RobotBulls2D-CBR2014
RobotBulls2D-CBR2014	2	x	time-comparativo
RobotBulls2D-CBR2014	5	x	time camila
RobotBulls2D-CBR2014	2	x	cbr2014v1.0
RobotBulls2D-CBR2014	2	x	cbr2014v1.0
cbr2014v1.0	4	x	RobotBulls2D-CBR2014
cbr2014v1.0	4	x	RobotBulls2D-CBR2014
RobotBulls2D-CBR2014	7	x	cbr2014v1.1
cbr2014v1.1	2	x	RobotBulls2D-CBR2014
RobotBulls2D-CBR2014	4	x	cbr2014v1.1
cbr2014v1.1	3	x	RobotBulls2D-CBR2014

V. CAMPEONATO

O ápice do trabalho foi atingido com a participação da equipe na competição latino-americana de robótica LARC/CBR 2014 [7], em que foi possível a comprovação de todo desenvolvimento realizado ao longo do ano. Entre 11 times latinos participantes (mais um time convidado do Irã), o time RobotBulls atingiu o sétimo lugar, resultado considerado satisfatório, uma vez que essa foi sua primeira participação em uma competição. A Tabela II mostra a classificação das chaves do grupo C, etapa classificatória do torneio. [6] [7]

Tabela II. Classificação. [6] [7]

Place	Team	Points	Total Score	Games
1	Expertinos	15	25 : 3	5
2	RobotBulls2D	9	27 : 11	5
3	sirsoccer	7	27 : 9	5
4	ITAndroids	7	26 : 9	5
5	RedDragons	6	29 : 11	5
6	Zombie	0	1 : 92	5

A Tabela III mostra a classificação final do campeonato, incluindo o time Nexus2D (do Irã), que não entrou oficialmente na classificação por não ser um time latino. [6] [7]

Tabela III. Classificação Final. [6] [7]

Place	Team	Points	Total Score	Games
1	Nexus2D	16	22 : 3	7
2	ITAndroids	13	9 : 7	7
3	sirsoccer	12	13 : 13	7
4	Expertinos	11	13 : 10	7
5	FCP_GPR_2014	10	9 : 8	7
6	UFSJ2D	7	7 : 11	7
7	Tropeiros	6	12 : 25	7
8	RobotBulls2D	5	6 : 14	7

VI. CONCLUSÃO

Os sistemas de robôs estão em grande ascensão atualmente, devido às inúmeras aplicações que podem ser realizadas. Um exemplo de aplicação é a automação residencial onde acionamentos que eram feitos manualmente foram substituídos por sistemas robotizados.

O futebol de robô possibilita a implementação de conceitos computacionais inovadores e aplicações de técnicas de sistemas dotados de inteligência, a fim de otimizar a jogada e operação dos elementos de campo. Assim, é de suma importância ter a correta posição dos jogadores dentro do campo, ter uma lógica de programação consistente e poder prever as jogadas do time adversário com precisão e rapidez.

É possível, ainda, utilizar as técnicas de inteligência artificial, como Lógica Fuzzy, visando a otimização e previsão das jogadas realizadas pelos jogadores.

Além das conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento de cada time, percebeu-se que as programações, as implementações de lógicas e o entendimento de que o futebol 2D é apenas o inicio de um estudo que visa um futebol com robôs reais, fizeram com que

os alunos envolvidos imaginassem situações e problemas reais e procurassem soluções. Isso acrescentou conhecimentos que puderam ser úteis em diversas áreas, principalmente, em Controle e Automação.

REFERÊNCIAS

- [1] Site da internet disponível em: www.cbrobotica.org, acessado em 21 de Maio de 2014.
- [2] Comunidade Ubuntu Brasil. Site de internet disponível em: <http://ubuntu-br.org/>, acessado em: 02 de Fevereiro de 2015.
- [3] POZZER, Cesar T. Introdução a Programação Orientada à Objetos na Linguagem C++. Departamento de Eletrônica e Computação. Universidade Federal de Santa Maria (2009). Disponível em: http://www/usr.inf.ufsm.br/~pozzer/disciplinas/cg_5_oo_c++.pdf , acessado em: 02 de Fevereiro de 2015.
- [4] COX, E. The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems. New York: AP Professional, 1994.
- [5] PINHO, F. A. Uma contribuição para a resolução de problemas de programação de operações em sistemas de produção intermitentes flow-shop: A consideração de incertezas. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 1999.
- [6] Site da internet disponível em: www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~fabro/larc2014/, acessado em 22 de Outubro de 2014.
- [7] Site da internet disponível em: <http://www.cbrobotica.org/?lang=pt>, acessado em 10 de Outubro de 2014.
- [8] FARIA, Gedson; ROMERO, Roseli F. Explorando o Potencial de Algoritmos de Aprendizado com Reforço em Robôs Móveis. IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais. São José dos Campos/SP, 1999.

Aplicação e Desenvolvimento da Robótica em Competições – Seguidor de Linha

Alexandre Baratella Lugli, Ana Leticia Gomes Gonçalves, Caroline Gabriele da Fonseca Macedo, Felipe Gustavo de Freitas Rocha, Gabriel Tenório da Fonseca, Juliana de Almeida Mendes,
Nathália Silva Almeida, Wanderson Eleutério Saldanha.
INATEL – Instituto Nacional de Telecomunicações.

Resumo — O objetivo desde projeto é aplicar e desenvolver a robótica através de competições, já que desde 2013 o Inatel conta com uma equipe de robótica, a RobotBulls, e em 2014 levou essa equipe para um novo seguimento, passando a participar de várias competições e acrescentando a ela a categoria Follow Line (Seguidor de Linha – Pró). Os robôs desenvolvidos para essa categoria devem ser autônomos, com todos os seus componentes embarcados e sem nenhum tipo de comunicação remota. Desde então, foi desenvolvido um robô, o Inabull, que foi levado para a competição Winter Challenger, bom resultado nesta competição motivou a continuação dos trabalho. Hoje a RobotBulls, nesta categoria, conta com o desenvolvimento de mais dois robôs e esta organizando sua própria competição de robótica.

Palavras-chave — Robótica, RobotBulls, Seguidor.

I. INTRODUÇÃO

No começo de 2013 alguns alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação, do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), trouxeram como proposta a formação de uma equipe de robótica, que segundo [1]: “O objetivo da equipe é promover o estudo e pesquisa da robótica para o aprimoramento do conhecimento, auxílio no desenvolvimento de soluções inovadoras e de novas tecnologias”.

A equipe de robótica foi formada e batizada de “RobotBulls”, cujo logotipo de identificação é ilustrado pela Figura 1. A princípio o trabalho foi direcionado para o futebol de robôs, com o intuito de participar da modalidade de simulação 2D na RoboCup Brasil [2].

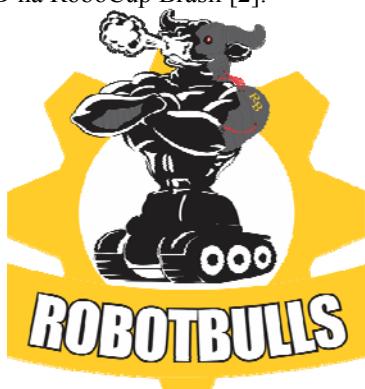


Figura. 1. Logotipo Robotbulls.

Já em 2014 foi pensado em uma expansão da equipe, com isso decidiu-se levá-la para participar do campeonato *Winter Challenger*, realizado pela RoboCore [3]. Assim, foi montado outro seguimento dentro da RobotBulls, voltado para a categoria “Follow Line” (seguidor de linha) que é o foco deste trabalho [4].

Nesta categoria é necessária a construção de um veículo (robô) totalmente autônomo e com todos os seus componentes embarcados, que através de um comando de “start” deve ser capaz de realizar percursos retos ou curvos para concluir a tarefa imposta a ele. Para isto, o robô é constituído de uma parte mecânica, sensores e uma plataforma microcontrolada.

II. PLANEJAMENTO DO TRABALHO

A. ESPECIFICAÇÕES DO ROBÔ

O robô a ser construído teve que seguir todas as especificações descritas na regra do Seguidor de Linha do *Winter Challenger* [4]. No qual deveria ser totalmente autônomo e com todos os seus componentes embarcados, assim qualquer controle externo por fio ou por rádio, exceto para ser iniciado, não poderia ser utilizado. O robô não poderia receber nenhuma adição, remoção ou alteração de hardware ou software durante a competição, porém pequenos reparos, fora do momento da partida, seriam permitidos. Além disso, não poderia exceder 250mm de comprimento, 250mm de largura e 200mm de altura, não podendo alterar suas dimensões. Não poderia conter nenhum tipo de mecanismo de sucção para aumentar a força normal em relação ao solo.

B. ESPECIFICAÇÕES DO PERCURSO

O robô deveria ser capaz de superar todas as características do percurso [4]. Que era composto por uma pista feita com placas de MDF revestidas com manta de borracha preta, na qual poderiam existir emendas, gerando desníveis de até 1mm e inclinações de até no máximo 5°.

O percurso iria ser indicado por uma linha branca de 19 ± 1 mm de largura, com um comprimento máximo de 60m. Esta linha formaria retas e arcos, podendo cruzar sobre ela mesma, como pode ser visto pela Figura 2.

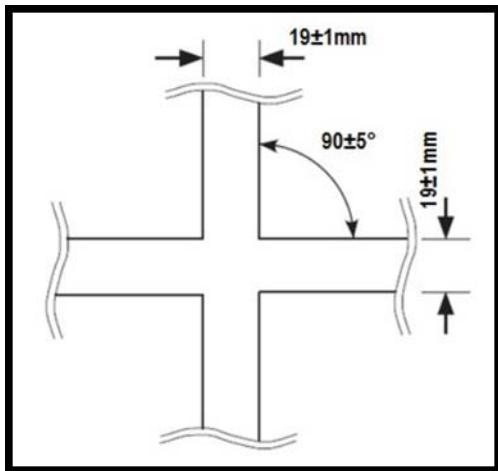


Figura. 2. Cruzamento. [4]

Algumas partes da pista, como chegada e partida e as curvas, possuíam marcações específicas. As marcações de chegada e partida podem ser vistas na Figura 3.

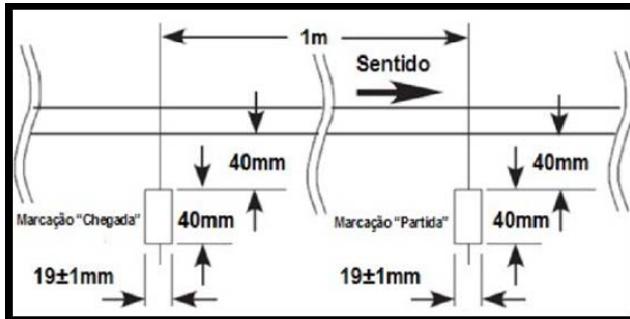


Figura. 3. Marcações de chegada e partida. [4]

As marcações das curvas podem ser vistas na Figura 4.

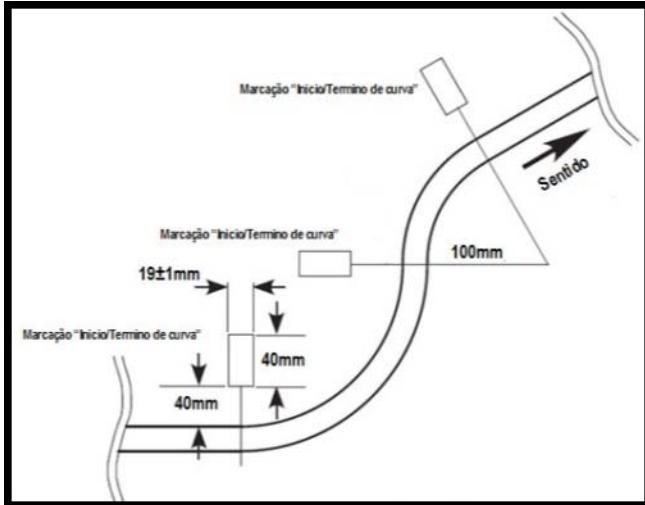


Figura. 4. Marcações de curva. [4]

C. IDEALIZAÇÃO DO ROBÔ

Desde 2013 o Evento Tecnológico de Introdução à Eletrônica e à Computação [5], tem como objetivo incentivar os alunos do ensino médio a escolha pela área tecnológica. O

formato do evento conta com uma competição entre equipes, na qual o propósito é controlar o deslocamento de um carrinho dentro de um percurso pré-estabelecido.

O carrinho utilizado nesse evento, nada mais é que um robô seguidor de linha com características que se poderiam surpreender, desde que fossem feitas algumas alterações, as especificações do *Winter Challenger*. Portanto, esse carrinho foi utilizado como base para o robô que foi desenvolvido.

III. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A. IMPLEMENTAÇÃO DO ROBÔ

O robô montado segue as regras e especificações do *Winter Challenger*, que tinha como um dos requisitos a necessidade de um nome para o robô, assim foi batizado de “Inabull”.

O Inabull tem como parte mecânica uma estrutura de plástico, que compõe seu chassi e rodas. O sensor utilizado para distinguir a diferença entre a cor preta e a branca da pista é o QRE, porém foi utilizada a sua versão QRE1113 [10] pela facilidade de aplicação. O funcionamento do QRE1113 se dá em entregar uma menor voltagem na saída quanto maior for a reflexão.

Uma plataforma microcontrolada utiliza das informações vindas dos sensores para comandar os motores que estão acoplados as rodas, motores estes que são ligados ou desligados, ou têm seu sentido de giro invertidos através de uma ponte H, que no caso foi utilizada a Dual Motor Shield [6].

A plataforma microcontrolada utilizada é o Arduino Uno, que é uma placa inspirada no micro controlador ATmega328. Contém 14 entradas/saídas digitais, onde 6 podem ser utilizadas como saídas PWM (*Pulse Width Module*) e 6 como entradas analógicas. [7]

A alimentação do Robô é feita através de 8 pilhas alcalinas de 1,5V, na qual, 4 destas são destinada a alimentação da plataforma microcontrolada e as outras 4 para a alimentação dos motores. A Figura 5 mostra a parte física do Inabull.

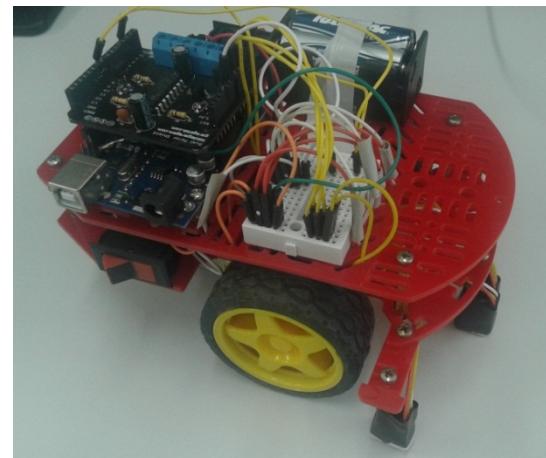


Figura. 5. Inabull.

B. CONTROLE DO ROBÔ

Os sensores mandam informações em tempo real para o Arduino, que através da lógica de seu programa envia as informações à ponte H, que fará os acionamentos dos motores

acoplados às rodas. A Figura 6 mostra um diagrama funcionamento do comando do Inabull.

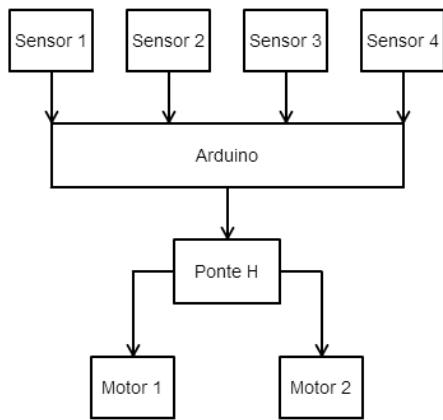


Figura. 6. Fluxograma das funções do Inabull.

A programação do Arduino foi feita em seu software próprio, que contem suas bibliotecas e compila o programa. A linguagem de programação utilizada foi a C++, utilizando uma lógica amparada por comandos simples como o “*if-else*”, “*while*”, “*do-while*”, “*switch-case*”, entre outros. O controle do Inabull é considerado “on-off” [8]. A Figura 7 ilustra o fluxograma da lógica aplicada ao robô.

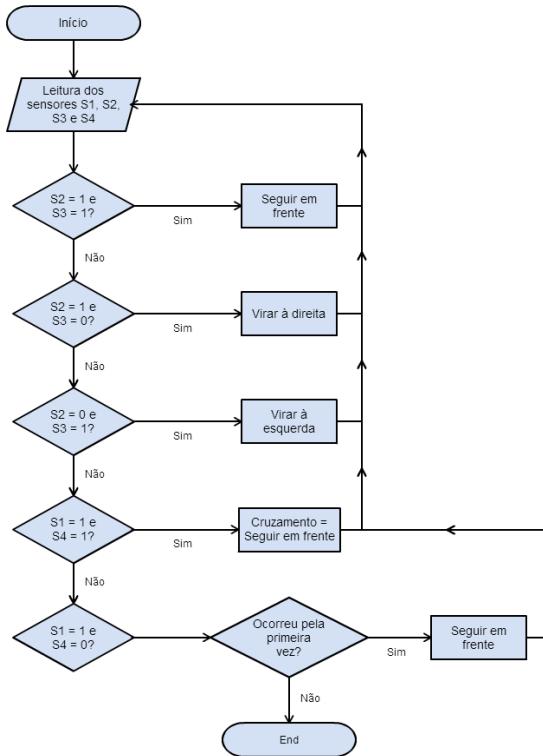


Figura. 7. Fluxograma da lógica do controle.

IV. COMPETIÇÃO: WINTER CHALLENGER

A. A COMPETIÇÃO

Em 2014 ocorreu a 10ª edição do *Winter Challenger*, que aconteceu no Instituto Mauá de Tecnologia – IMT entre os

dias 17 e 20 de Julho. Foi aberta ao público visitante e contou com equipes de universidades brasileiras e estrangeiras.

Foi a primeira vez que uma equipe do Inatel participou de um *Winter Challenger*. [3]

B. A PARTIDA

Os robôs deveriam seguir o trajeto determinado pela linha branca e o que terminasse o percurso em menor tempo venceria desde que não infringisse as seguintes regras, de acordo com [4]:

- O robô não poderia sair completamente da linha branca;
- Cada robô teria três tentativas, consecutivas, de três minutos máximos, por dia de competição.
- O robô deveria parar automaticamente dentro da área de “partida-chegada” e permanecer parado pelo menos 10 segundos após completar uma volta.
- Após iniciada a partida, não seria permitido encostar-se ao robô sem a autorização do juiz.

C. RESULTADOS

Ao todo foram 70 robôs inscritos na categoria Seguidor de Linha, dentre estes apenas 22 conseguiram registrar um tempo válido, ou seja, completar o percurso dentro das regras.

A RobotBulls, tendo o Inabull como seu único robô, ficou em 21º lugar na classificação. Concluindo todas as tentativas com tempo válido. [9]

V. CONTINUIDADE DO TRABALHO

A. NOVOS ROBÔS

Com a intenção de ampliar os conhecimentos e desenvolver robôs cada vez melhores, está sendo desenvolvidos dois novos robôs dentro do seguimento voltado para o seguidor de linha, na RobotBulls. O primeiro robô é o aperfeiçoamento do já existente Pololu 3PI [11], uma plataforma robótica completa e com alto desempenho, dedicado a competições de *Follow Line* e resolução de labirintos.

A intenção com o Pololu 3PI é melhorar seu código fonte, estudar e entender a tecnologia aplicada a ele e modificar seu hardware para que se adapte as competições que a RobotBulls participa. A Figura 8 ilustra o Pololu 3PI.

O segundo robô que está sendo desenvolvido, batizado de Inabull 2.0, tem como bases a lógica e leitura dos sensores igual ao do Inabull e o desempenho do Pololu 3PI. Além disso, o Inabull 2.0 vem com uma plataforma microcontrolada superior, o MSP430F5529 [12], que tem como diferencial uma frequência de 25MHz, o que ajuda na velocidade em que os motores são acionados, tornando o Inabull 2.0 mais veloz.



Figura. 8. Pololu 3PI.

O Inabull 2.0 conta com um chassis e rodas exclusivos, desenhadas em impressas 3D com tamanho, espessura e peso pensados para trazer a maior velocidade e desempenho. A Figura 9 ilustra como está o Inabull 2.0, atualmente.

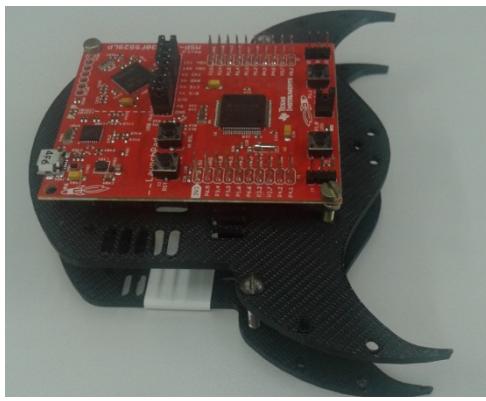


Figura. 9. Inabull 2.0.

B. COMPETIÇÃO DE ROBÓTICA - IWCA

Observando a falta de eventos voltados para a robótica no Brasil, está sendo organizada uma competição de robótica no Inatel. A competição acontecerá dentro dos eventos da IWCA (*Inatel Week of Control and Automations*) [13], que é uma semana dedicada a palestras, mini cursos e eventos em geral voltados para a área de controle e automação.

A competição contará com três categorias: Seguidor de Linha, Futebol 2D e Sumô Lego. Acontecerá entre os dias 3 e 5 de Março deste ano e contará com a presença de equipes de robótica de todo o Brasil e ainda com duas internacionais, uma dos Estados Unidos e outra do Iran, ambas participando remotamente da categoria Futebol 2D.

VI. CONCLUSÃO

Os sistemas robotizados estão em grande ascensão, devido às inúmeras aplicações que podem ser realizadas e facilidades que podem trazer. A exploração da robótica em projetos como este trazem aprendizado e curiosidade para o desenvolvimento de novas tecnologias. O projeto de sistemas autônomos deve possuir uma grande inteligência capaz de tomar decisões o mais rápido possível, evitando erros ao sistema.

Os três robôs apresentados possuem técnicas de inteligência distintas, além de dimensões e projetos mecânicos bem diferentes um do outro.

O objetivo com o Inabull 2.0 é que a lógica de inteligência artificial e a mecânica elaborada pela equipe possa tornar o sistema mais eficaz e veloz.

REFERÊNCIAS

- [1] LUGLI, A. B., et al. RobotBulls Robotics – team description. LARC / CBR, 2014, 6p.
- [2] RoboCup Brasil. Disponível em: <<http://www.robocup.org.br/>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [3] Winter Challenger 10ª edição. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=17>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [4] Robocore, Regras Seguidor de Linha. Disponível em: <https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore_regras_seguidor_de_linha_165.pdf>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [5] ALMEIDA, Nathália Silva. 2014. Desenvolvimento e Implantação de Projeto de Evento Tecnológico de Introdução à Eletrônica e à Computação. Santa Rita do Sapucaí – MG. Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel.
- [6] Laboratório de Garagem, Dual Motor Shield. Disponível em: <<http://www.labdegaragem.org/loja/31-shields/dual-motor-shield.html>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [7] Arduino, Arduino Uno. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [8] UFRGS, Ação Liga-Desliga (On-off). Disponível em: <<http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node20.html>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [9] Robocore, Classificações. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_Eventos&evento=17&tab=2>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [10] Robocore, Sensor de Refletância QRE – Analógico. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_LojaVirtual&prod=519>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [11] Robocore, Pololu 3pi. Disponível em: <https://www.robocore.net/modules.php?name=GR_LojaVirtual&prod=131>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [12] Texas Instruments, MSP430F5529 USB LaunchPad Evaluation Kit. Disponível em: <<http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430F5529LP>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.
- [13] Inatel, IWCA. Disponível em: <<http://www.inatel.br/iwca/>>. Acesso em 28 de janeiro de 2015.

Estudo sobre a medição de vazão baseada no tempo de trânsito de sinais ultrassônicos

Bruna Maira da Silva

Luiz Guilherme Pereira

Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
brunamaira@get.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
luizpereira@gea.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
wsaldanha@inatel.br

Resumo— Este artigo apresenta o estudo sobre a medição de vazão de água, não turbulenta, em sistemas fechados baseados no tempo de trânsito de sinais ultrassônicos provenientes de transdutores utilizados de forma intrusiva. O objetivo é apresentar o procedimento de cálculo dessa alternativa para medição de vazão, bem como comprovar sua aplicabilidade.

Palavras chave — vazão, tempo de trânsito, medida, sensor ultrassônico.

I. INTRODUÇÃO

Os medidores de vazão por ultrassom foram desenvolvidos na segunda metade do século XX para fins industriais, tais como: tratamento de águas residuais, processamento de indústria química, papel e celulose, medições de fluxo de combustíveis em refinarias, entre outras. [11]

Os sensores que utilizam sinais ultrassônicos têm sido muito empregados nas indústrias por utilizarem um sinal que não está sujeito à interferência eletromagnética. Desta maneira, não sofrem ruídos que são comumente encontrados em ambientes que possuem máquinas e motores geradores dessas interferências.

Existem três métodos baseados em sinais ultrassônicos para medidas de vazão de fluídos que são bastante utilizados nas indústrias: efeito Doppler, correlação cruzada, mudança de fase, desvio e tempo de trânsito.

O sensor baseado no efeito Doppler é mais popular e menos dispendioso, porém menos preciso que o medidor por tempo de trânsito. Ele utiliza o desvio de frequência promovido pelo efeito Doppler causado pelo sinal refletido ou disperso a partir de suspensões no percurso de escoamento.

No sensor baseado em correlação cruzada, duas secções de medição são instaladas com certa distância uma da outra. Ambas medem a absorção de energia do sinal ultrassônico. Com base nos resultados, calcula-se a velocidade de escoamento.

No sensor baseado em mudança de fase a diferença de fase do sinal de transmissão e recepção é medida no sentido da vazão e contra ela. O ângulo de desvio de fase resultante é diretamente proporcional à velocidade do fluxo.

Outro sensor baseia-se no desvio de um sinal ultra-sônico ao atravessar uma dada vazão, medida pela atenuação do sinal.

Neste estudo, são abordadas as técnicas de medição de vazão baseadas em tempo de trânsito de sinais ultrassônicos,

que faz uso da diferença de tempo para um impulso sônico percorrer uma distância fixa, em primeiro lugar contra o fluxo e, em seguida, no sentido do fluxo. Medidores de vazão baseados em tempo de trânsito são sensíveis aos sólidos em suspensão ou bolhas de ar no fluido. Este tipo de medidor será objeto desse estudo e tratado com maior detalhe.

O artigo é subdividido em tópicos a fim de apresentar de forma clara todos os conceitos e métodos utilizados no dimensionamento da vazão em um sistema fechado - também chamado de planta. O sistema fechado é constituído de um cano com fluxo direcionável em um ou em outro sentido, dois transdutores ultrassônicos para o envio e recepção dos sinais e um circuito para tratamento dos sinais permitindo a medição da vazão.

II. PLANEJAMENTO DO TRABALHO

A. Especificações do trabalho

O medidor de vazão baseado em tempo de trânsito é o mais preciso entre os medidores que utilizam sinais ultrassônicos e está disponível em versões intrusivas, onde o transdutor é classificado “molhado” por estar em contato com o fluido a ser monitorado, para medição de líquidos e gases, e não intrusivas, sem o contato com o fluido, apenas para líquidos. A incerteza de medição fica entre 5%, para o pior caso, e 1%, para o melhor caso.

Na medição de forma não intrusiva é necessário definir o melhor ângulo de incidência do sinal ultrassônico com a parede da tubulação para minimizar a atenuação do sinal e o índice de reflexão do sinal projetado. Mesmo havendo diversos estudos para definição desse ângulo, optou-se por utilizar o método intrusivo, onde o sinal é projetado diretamente no fluido sem obstáculos, a fim de facilitar o desenvolvimento eletrônico e simplificar os testes.

Esta opção não afeta o objetivo desse estudo, que busca estudar e comprovar a aplicabilidade desse método.

B. Especificações básicas para planta de testes

A planta a ser utilizada, terá dois transdutores, T1 e T2, dispostos ao longo da tubulação, permitindo visibilidade direta entre eles.

Sua construção leva em consideração que a medição acústica baseia-se no fato de que a velocidade de propagação de uma onda acústica c e a velocidade da vazão v são somadas vetorialmente.

A imagem abaixo ilustra a secção da tubulação que comportará os transdutores para medição.

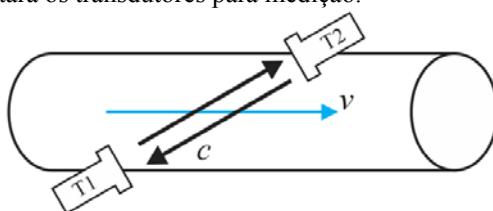


Fig. 1. Medição de vazão por tempo de trânsito.

Pela figura, observa-se a independência da definição da vazão em relação à distância entre os transdutores, bastando conhecer tais distâncias para estimar o tempo médio de propagação para simples referência.

A informação de maior interesse em todo o processo é a diferença entre os tempos de propagação T_1-T_2 e T_2-T_1 em função do sentido da vazão e sua intensidade. Se o sentido da vazão for de T1 para T2, ter-se-á o tempo de T1 para T2 maior que o tempo de T2 para T1, e vice-versa no caso contrário. A vazão será proporcional a diferença entre os dois tempos.

III. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Na engenharia os problemas são resolvidos geralmente com a junção de dois âmbitos: o teórico e o experimental. O teórico faz a modulação do fenômeno físico e em alguns casos utiliza de simplificações para tomá-lo mais simples. O experimental requer mais tempo dos pesquisadores por ser preciso construir um protótipo para as medidas. A junção dos dois gera uma pesquisa mais embasada e concisa. Tendo este conhecimento o estudo foi realizado das duas maneiras e será apresentado a seguir.

A. Conceituação

O primeiro conceito a ser considerado é o fato de que a propagação do sinal ultrassônico no sentido do escoamento do fluxo será mais rápido do que o sinal lançado no sentido contrário.

O dispositivo que emite e recebe o sinal ultrassônico é chamado de transdutor. Existem vários tipos de transdutores, dentre eles o piezoeletrico, magnetostritivo, capacitivo e eletromagnético. O piezoeletrico é o mais utilizado devido a ampla faixa de frequência de operação, com possibilidade de trabalhar com frequências em Mhz.

Transdutores piezoeletricos são compostos de cristais ou cerâmicas que podem ter espessuras diferentes - quanto menores as espessuras, maiores são as frequências - e que vibram ao serem excitados com uma tensão alternada, gerando as ondas ultrassônicas através do elemento vibratório. A recíproca também é verdadeira, os transdutores ao receberem um sinal ultrassônico em sua superfície geram em seus

terminais pulsos elétricos. Deste modo, o transdutor pode enviar e receber os sinais ultrassônicos.

O feixe de sinal ultrassônico gerado por um transdutor está representado na figura a seguir. Por consequência disto, quando se trabalha com transdutores deve-se utilizar superfícies de reflexão do sinal planas e com um ângulo perpendicular entre a face do transdutor e a superfície que deseja a reflexão.

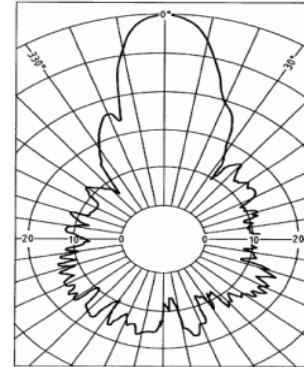


Fig. 2. Modelo do feixe do sinal ultrassônico de um transdutor. [13]

Entre as vantagens de se utilizar esses transdutores ultrassônicos piezoeletricos, está a distância que pode ser alcançada e a estabilidade do sinal. Na pesquisa realizada e com base nos transdutores da empresa Airmar Technology, os transdutores conseguem trabalhar com distâncias que vão de 5 centímetros à 40 metros. Em grandes distâncias, a velocidade do som no meio poderá sofrer variações em função da temperatura e interferir na precisão da medida. A velocidade do som no ar é uma função que depende da temperatura ambiente (T), pressão barométrica, umidade relativa e viscosidade do ar. As variações da velocidade são devidas em grande parte a variação da temperatura e, em vista disto, as outras variáveis podem ser desconsideradas para simplificar o estudo. Abaixo é apresentada a equação da velocidade do som no ar:

$$v = 331,31 \times \sqrt{\frac{T}{273,16}} \quad (1)$$

onde T é a temperatura em Kelvin.

Observa-se que a frequência do sinal não influencia sua velocidade de propagação, mantendo somente a dependência com a temperatura.

O medidor de vazão baseado em tempo de trânsito mais simples e, consequentemente, com menor precisão necessita de pelo menos dois transistores. Estes transdutores formam um único percurso (single path) para o sinal. Se a aplicação final necessitar maior precisão, pode-se trabalhar com mais transdutores formando múltiplos percursos (multi path). Nessa última possibilidade ainda é possível determinar a intensidade da turbulência do fluido passante.

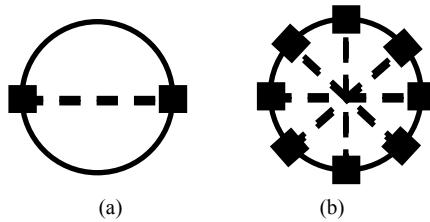


Fig. 3. Transdutores dispostos em percurso único (a) e múltiplos percursos (b).

Para este estudo será utilizada a configuração simples apenas com dois transdutores.

Conforme citado, os transdutores podem ser colocados em contato com o fluido (intrusivo) ou fixados contra a parede do tubo pela parte externa (não intrusivo). Abaixo a figura demonstra as quatro maneiras de se posicionar os sensores.

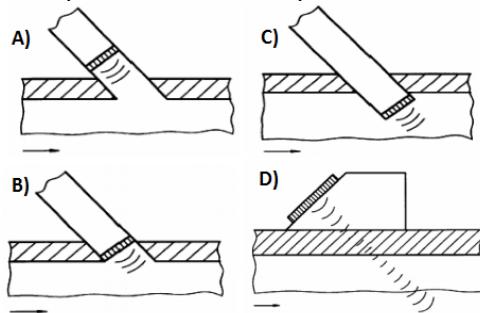


Fig. 4. Modelo do feixe do sinal ultrassônico de um transdutor. [13]

Na figura 4C alguns cuidados especiais devem ser tomados para se fazer a medida da vazão. Isto é necessário devido ao sensor estar posicionado de maneira não invasiva. O entendimento da lei de Snell demonstra que a transmissão ultrassônica pode ser obtida com base no ângulo de incidência, impedância acústica, na frequência básica do ultrassom, no material e na espessura da superfície metálica. No entanto, esta lei não pode ser aplicada para certos casos em que uma onda ultrassônica incidente passa através de uma placa metálica e se transforma em uma onda longitudinal, uma onda de cisalhamento (shear-wave) e uma onda de Lamb.

A vantagem deste sistema é a fácil montagem pela tecnologia clamp-on. Com ela, a montagem dos transdutores é apenas necessária conectar o suporte dos transdutores e fazer a medida. A desvantagem é que para cada tubo de material ou espessura diferente será necessário toda a reformulação do suporte e das equações que geram a medida.

Visando simplificar o estudo, o sistema escolhido está situado de maneira invasiva. A posição invasiva diminui a gama de fluídos passantes na planta como líquidos corrosivos ou com resíduos sólidos que danificariam os transdutores. Os caminhos de propagação do ultrassom são investigados experimentalmente em vários ângulos de incidência para avaliação de melhor precisão. As vantagens desse método é a alta precisão, capacidade de medição em ambos os sentidos (bidirecional), distinção do sentido do fluxo e o custo do sistema quase independe da dimensão do tubo. As desvantagens estão relacionadas ao custo inicial e que bolhas

e/ou sedimentos suspensos no fluido podem afetar a intensidade do sinal acústico.

A alta precisão da medida também depende de como o líquido flui no tubo. Para garantir uma boa posição dos transdutores é necessário que o local de instalação tenha uma distância de 10 vezes o diâmetro do tubo na montante (antes do sensor) e 5 vezes o diâmetro do tubo na jusante (depois do sensor) de qualquer elemento de restrição como válvulas, cotovelos, tees, redutores, etc. As figuras a seguir ilustram a definição da melhor posição para realizar a medição de vazão utilizando o método em estudo.

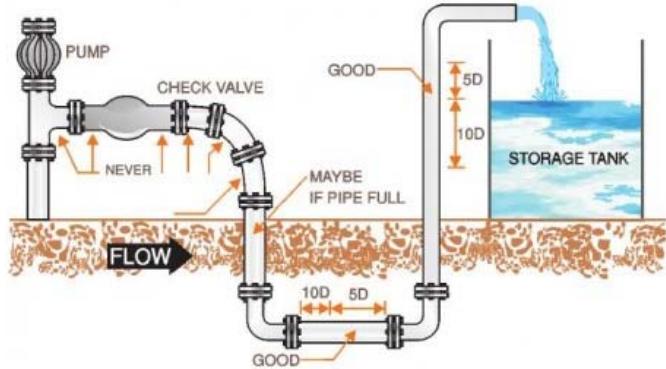


Fig. 5. Posicionamento para alta precisão 1. [10]

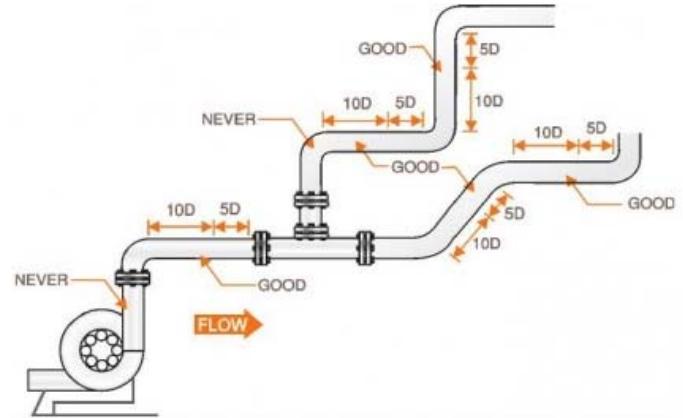


Fig. 6. Posicionamento para alta precisão 1. [10]

Outros fatores importantes para garantir a qualidade da medida são a temperatura da superfície que está em contato com o transdutor, o local que será instalado tem que possuir uma boa “condução” do som e o estado de conservação da tubulação com relação a corrosão, incrustações, espessura do tubo, entre outros.

B. Definições Matemáticas

Tendo em vista a física clássica, a definição de vazão volumétrica é a quantidade em volume que escoa através de uma secção em um intervalo de tempo, ou seja:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Sendo vazão volumétrica (Q) igual a razão da velocidade (V) de deslocamento do fluido pelo tempo (t). No primeiro momento foi encontrada uma equação para cálculo do valor da vazão de um tubo com uma ótima precisão. O estudo foi feito e encontrada uma variável de delicado mensuramento. Essa variável é um fator de correção da distribuição da velocidade.

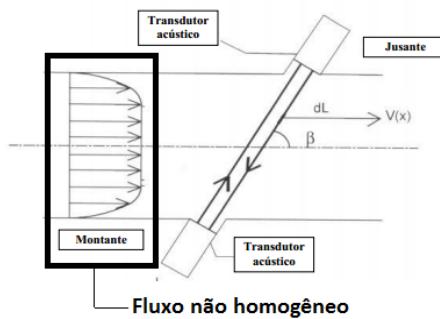


Fig. 7. Demonstração do fluxo. [13]

Em seguida a equação da vazão (Q) que modularia um fluxo não homogêneo:

$$Q = K \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{L^2}{2d} \times \frac{\Delta t}{t_1 \times t_2} \quad (3)$$

Sendo, K o fator de correção da distribuição da velocidade; D = diâmetro da seção de medição; L = comprimento de influência; d = distância de influência; $\Delta t = t_1 - t_2$; t_1 = tempo de trânsito no sentido de fluxo; t_2 = tempo de trânsito no sentido contrário ao fluxo.

No estudo realizado considerou-se que o líquido flui de maneira homogênea. Assim sendo, não será necessário conhecer a variável de correção (K). O equacionamento que rege o cálculo é apresentado de forma simplificada a seguir. Abaixo a figura demonstra a base para a planta de trabalho.

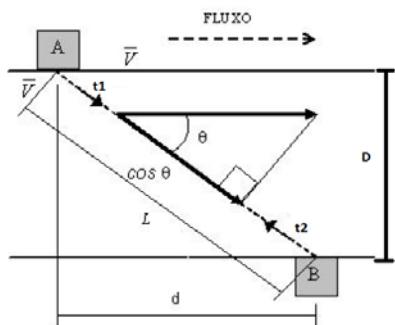


Fig. 7. Modelo de planta utilizada com descrição dos ângulos. [13]

O cálculo da vazão utiliza algumas variáveis. Algumas são fixas da planta, como a distância entre os sensores, o percurso

do sinal e o ângulo. Outras não, estas dependem do fluxo, sentido da vazão e os tempos de propagação do sinal, t_1 e t_2 .

A variável t_1 mede o tempo que o sinal ultrassônico enviado pelo sensor A leva para ser recebido pelo sensor B e o t_2 é o oposto. O tempo t_1 será menor que o t_2 quando a propagação do sinal estiver a favor do fluxo, se o fluxo for invertido, t_2 será menor. Com a medida do diâmetro do cano (D), o ângulo entre a direção dos transdutores e o sentido da vazão em radianos (α), os tempos t_1 e t_2 , a distância entre os transdutores (L), a distância entre as seções retas que passam pelos dois transdutores (d), a velocidade média de deslocamento do fluido (V), a velocidade do som no meio (C_s), pode-se determinar as velocidades médias do ultrassom no fluido ao longo do percurso (L), V_{AB} e V_{BA} , e demais cálculos até a determinação da vazão. Tem-se então:

$$V_{AB} = C_s + V \times \cos(\alpha) \quad (4)$$

$$V_{BA} = C_s - V \times \cos(\alpha) \quad (5)$$

Ao isolar (C_s) nas equações (4) e (5), iguala-se as duas e isolando (V), obtém-se:

$$V = \frac{V_{AB} - V_{BA}}{2 \times \cos(\alpha)} \quad (6)$$

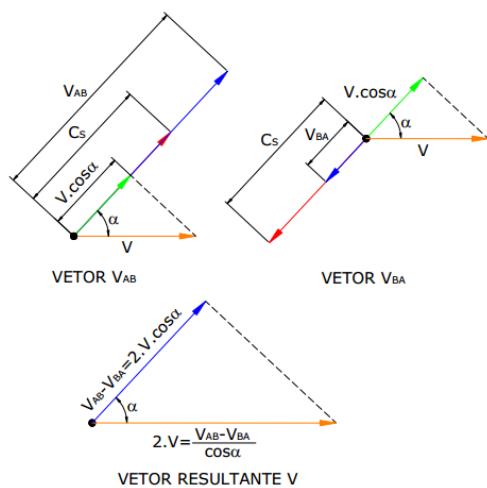


Fig. 8. Demonstração dos vetores para equação. [11]

Por outro lado se a velocidade de deslocamento do fluido na planta é conhecida e desejam-se os tempos t_1 e t_2 , será necessário encontrar mais algumas variáveis do processo. A distância do percurso que o sinal ultrassônico irá percorrer (L) e a velocidade do som no líquido, no caso desse estudo considerou-se a água, variável expressa com a letra (c) nas equações a seguir, que será mais baixa do que no ar, este valor corresponde a aproximadamente 1480m/s.

Os tempos t_1 e t_2 serão dados pelas equações abaixo, o menor tempo será sempre a favor do fluxo:

$$(7) \quad t_1 = \frac{L}{c + V \times \cos(\theta)}$$

$$(8) \quad t_2 = \frac{L}{c - V \times \cos(\theta)}$$

Na equação (7) e (8) temos frações que definem o valor de t_1 e t_2 e a diferença entre as duas modulações é a soma ou subtração no dividendo. A soma no dividendo determina um valor menor de tempo, isso demonstra que o sinal está a favor do fluxo, por outro lado a subtração da equação (8) delimita um valor maior, para demonstrar um sinal contra o fluxo.

C. Software

Após o equacionamento da medida de vazão por tempo de trânsito foi desenvolvido um algoritmo no Matlab - versão estudante ano 2008. O Matlab (Matrix LABoratory) é um programa interativo de alto desempenho voltado para o desenvolvimento de algoritmos com foco em engenharia geral.

O programa desenvolvido foi feito numa GUIDE (graphical user interface design environment), em forma de linhas de programação. A criação de duas maneiras gera um alcance maior para os pesquisadores que se interessam pela resolução proposta, desenvolvida e apresentada neste artigo. O programa em linhas de código necessita do Matlab para ser utilizado, por outro lado a GUIDE não o faz. Abaixo figura da GUIDE criada:

The figure shows a GUIDE interface with two panels. The left panel is titled 'Use esta guia para calcular a velocidade' and contains fields for 'Diâmetro do tubo [m]' (Diameter of the tube [m]), 'Ângulo entre os sensores' (Angle between sensors), 'Tempo a favor do fluxo' (Time favorably to flow), 'Tempo contra o fluxo 'T2'' (Time against flow 'T2'), and a 'Calcular a Velocidade' (Calculate Velocity) button. Below these is a field for 'Velocidade do fluxo [m/s]' (Flow velocity [m/s]). The right panel is titled 'Use esta guia para calcular os tempos de transito' (Use this guide to calculate transit times) and contains fields for 'Diâmetro do tubo [m]', 'Ângulo entre os sensores [º]', 'Velocidade do fluido [m/s]', 'Sentido do fluxo' (Flow direction), radio buttons for 'Esquerda p/ direita' (Left to right) and 'Direita p/ esquerda' (Right to left), and a 'Calcular T12 e T21' (Calculate T12 and T21) button. Below these are fields for 'Tempo a favor do fluxo 'T1' [us]' and 'Tempo contra o fluxo 'T2' [us]'.

Fig. 9. Guide desenvolvida para o usuário.

Os softwares foram criados com a intenção de testar de maneira simplificada a modulação feita. Com eles conseguiu-se prever resultados que serão encontrados na prática e também utilizar das linhas de código para facilitar a programação na placa de desenvolvimento AIMAR T1.

D. Hardware

Após o modelamento matemático, foi escolhido um kit de desenvolvimento para o inicio dos testes práticos. O kit escolhido foi o AIMAR T1 – desenvolvido pela empresa

norte-americana Airmar Technology Corporation. O Airmar T1 envia sinais ultrassônicos e também os recebe. A figura abaixo ilustra o kit utilizado:



Fig. 10. Kit AIRMAR T1. [12]

O Kit de desenvolvimento T1 foi desenvolvido para avaliações rápidas e relativamente fáceis dos transdutores ultrassônicos AIMAR, ou equivalentes. Trabalha numa faixa de operação entre 30khz até 300khz. Com uma tensão de saída de 400Vpp. Possui ajuste de largura de pulso e frequência. A troca de um transdutor piezoelettrico para uma aplicação específica é feita de maneira simples. Para a aplicação final na medição de vazão as frequências utilizadas ficarão entre 1MHz e 4MHz, havendo a necessidade de adaptação do circuito inicial utilizado para testes.

Os testes com o kit apresentado se resumem ao estudo do sinal ultrassônico e sua propagação considerando como fluido o ar. Após validação do modelamento matemático e estudo do sinal ultrassônico, serão necessários testes na planta final com os transdutores inseridos no sistema de forma intrusiva, tendo a água como fluido de propagação.

O receptor pode ter um ganho de 60dB para amplificação de ecos e visualização da forma de onda em um osciloscópio.

O T1 é uma placa compacta com tamanho de 77mm x 102mm e oferece conexões simples para os transdutores ultrassônicos e sua energia de alimentação. Oferece também algumas opções para a escolha da faixa de frequência dos transdutores AIMAR através de jumpers. A figura abaixo apresenta as possibilidades de configuração:

Model	J1 and J2 Position	Range	Pulse Rate	Pulse Width	Frequency
AT-25	1	80cm-30m	3Hz	120-2400µs	25-34kHz
AT-41	2	30cm-20m	5Hz	80-1600µs	35-46kHz
AT-50	3	25cm-15m	6Hz	60-1200µs	43-56kHz
AT-120	4	15cm-7m	10Hz	40-800µs	100-130kHz
AT-200	5	10cm-3m	25Hz	16-320µs	180-220kHz
AT-225	6	8cm-2.5m	25Hz	16-320µs	200-260kHz
Custom	7	—	—	—	—
Custom	8	—	—	—	—

Fig. 11. Configuração dos Jumper's e sua determinada faixa de frequência. [12]

Conforme as orientações acima, foi possível realizar testes com vários transdutores ultrassônicos em faixas de frequências diferentes e assim observar sua forma de onda no osciloscópio. Abaixo, a figura apresenta o sinal enviado e o eco recebido:

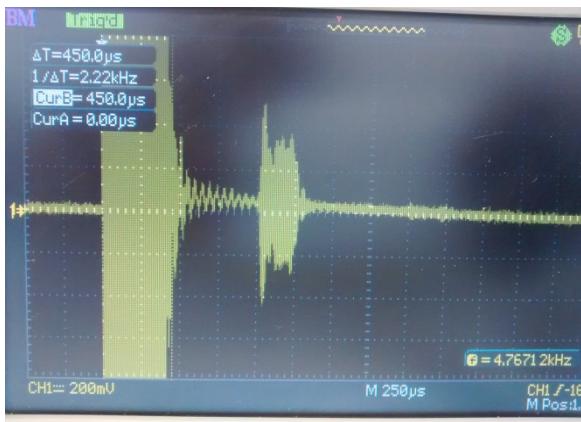


Fig. 12 Sinal ultrassônico transmitido e seu eco.

Os primeiros testes realizados tiveram como meio de propagação o ar e os transdutores que utilizam esse meio para enviar o sinal tem uma faixa de frequência de 30khz até 300khz. A figura a seguir demonstra como foi feito a recepção do sinal da figura 12:

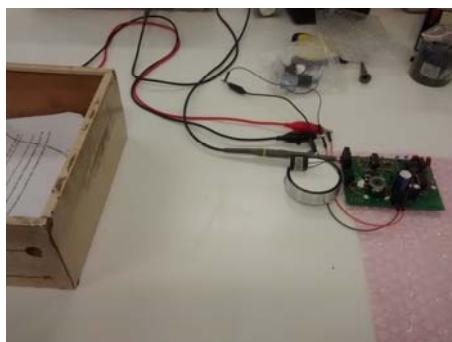


Fig. 13. Exemplo de como ter a recepção do sinal

A transmissão de sinal ultrassônico na água necessita de uma frequência acima de 1Mhz para obter qualidade e eficiência do sistema. A figura abaixo contém um dos transdutores que foram utilizados nesta segunda bateria de testes e que conseguem trabalhar nesta faixa:



Fig. 14 Transdutor utilizado para envio de sinal de 1Mhz.

Com esse requerimento, o aumento de frequência, o kit da Airmar T1 se mostra insuficiente e necessita alterações em seu circuito base. Tendo isto em vista, foi iniciada a engenharia reversa no kit para desenvolver um circuito capaz de operar sinais com a frequência necessária. Pelos estudos realizados notou-se que a placa segue alguns passos para o envio e recepção do sinal, segue abaixo:

1. Cria um sinal composto de janelas te tempo onde seu tempo em alta é muito menor do que o tempo em baixo;
2. Gera um sinal quadrado de frequência desejada pelo usuário, seu valor de tensão de pico-a-pico de 10V sendo o valor 0V seu mínimo;
3. Comuta-se o sinal do primeiro passo com o do segundo, criando assim o sinal da figura 11 deste trabalho;
4. O sinal é ampliado em 40 vezes para transmissão pelos transdutores, está ampliação é feita por um transistor MOSFET e um transformador;
5. O sinal é então recebido no eco e tem-se a possibilidade de medir o sinal no osciloscópio com ganho de 1x, 10x, 100x e 1000x.

Tendo em vista essas características, foi escolhida a criação de uma nova placa para desenvolvimento do sistema. Esta placa não está finalizada mas a fase de testes já foi iniciada. A criação das janelas será feita com um circuito oscilador astável com o CI 555, o sinal quadrado é feito com o gerador, o CI 4066 faz a comutação do sinal, o mosfet e o transformador ainda são responsáveis pela ampliação para transmissão do sinal e o circuito de um amplificador operacional que amplifica a recepção. Abaixo o circuito feito no Multisim – software de simulação de circuitos eletrônicos.

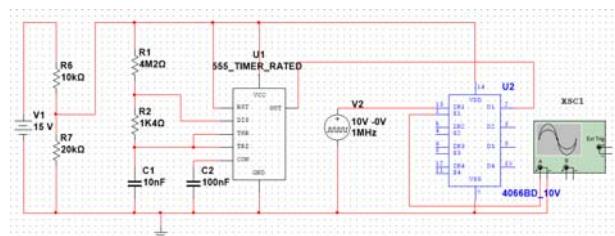


Fig. 15. Circuito que cria as janelas e comuta o sinal de 1 Mhz.

IV. CONCLUSÕES

Com estudos realizados podemos concluir que o método ultrassônico apresenta uma excelente precisão, de fácil manuseio e baixo custo, considerando o meio de propagação como sendo o ar.

Variações na corrente de ar modificaram os tempos de propagação, porém sem condições de avaliar a vazão.

Nos cálculos relacionados nesse trabalho, para termos um resultado mais preciso temos que levar em consideração alguns tipos de variáveis, como o tipo de fluido, materiais, a angulação, entre outros, e realizar testes em uma planta hidráulica.

A proposta para trabalhos futuros é implementar na prática os estudos realizados e fazer testes para descobrir os melhores ângulos entre os transdutores e a superfície para fazer a medida por tempo de transito, bem como validar esse método para medições de vazão em sistemas hidráulicos.

REFERÊNCIAS

- [1] Fox, R.W. e McDonald, A.T., 1995, Introdução à Mecânica de fluidos, Editora Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro.
- [2] Yokogawa, “Medidores de Vazão”, Catálogo Técnico, Yokogawa América do Sul, 2000.
- [3] Delmée, Gérard J. “Manual de Medição de Vazão”. 3 ª edição, Edgard Blucher, São Paulo, 2003.
- [4] SMITH SCHNEIDER, P., 2007, Medição de Pressão em Fluidos, Apostila da disciplina de Medições Térmicas, Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre (www.geste.mecanica.ufrgs.br).
- [5] Delmée, Gérard J. “Manual de Medição de Vazão”. 2ª Edição, Edgard Blücher , São Paulo, 1982.
- [6] Azevedo, Luís Fernando A. Introdução à Medição de Vazão. Notas de Aula do Curso: Métodos Experimentais para Engenharia Mecânica, PUC-Rio.
- [7] Viana, U.B., 1999. Instrumentação Básica II: Vazão, Temperatura e Analítica. SENAI / Companhia Siderúrgica de Tubarão, Vitória index.html.
- [8] Dolan, M.T; Wright, M.D.W. Ultrasonic Transducers for gas and liquid flow metering. Proceedings of the 24th international manufacturing conference, IMC 24, 2007.
- [9] SILVA, T.R; MADRUGA,C.L.M; GUEDE,J.R.A. MEDIDOR DE NÍVEL ULTRA-SONICO. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/ed/INIC_2009/anais/arquivos/1127_1441_01.pdf. Acesso em 31/01/2015.
- [10] BRANCO, Gilberto. Medição de vazão com ultra-som. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/812-medio-de-vazo-com-ultra-som> . Acesso em 31/01/2015.
- [11] FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Medidores Ultrassônicos. Disponível em: <http://portalinstrumentacao.xpg.uol.com.br/docs/medidoresus.pdf>. Acesso em 01/02/2015.
- [12] AIRMAR.ULTRASONIC TRANSDUCERS AND SENSING TECHNOLOGY. Disponível em: <http://www.airmartechology.com>. Acesso em 10 fev de 2015.
- [13] PUC RIO. Certificação Digital. Disponível em:http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9970/9970_3.PDF . Acesso em 15 de fev de 2015.

Estudo sobre técnicas de mapeamento de ambiente para detecção e combate pontual de focos de Incêndios Estruturais

Leonardo Siqueira Castilho Rhyesla Amanda Siqueira de Souza Ana Letícia Gomes Gonçalves

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
leonardosiqueira@gea.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
rhyeslas@get.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
ana.leticia@inatel.br

Resumo— Este artigo descreve a pesquisa em andamento para o desenvolvimento de um protótipo capaz de realizar a identificação de um foco de incêndio estrutural e combatê-lo pontualmente minimizando os danos ao local do acidente. O protótipo atuará quando a temperatura identificada por sensores for alta ou aumentar de forma significativa e extinguirá o fogo.

Palavras-chave—Incêndio Estrutural, Protótipo Eletrônico, Segurança.

I. INTRODUÇÃO

Uma causa dos grandes incêndios é um foco considerado, inicialmente, inofensivo. De 2012 para 2013, segundo dados do Instituto Sprinkler Brasil [1], o número de incêndios estruturais saltou de 755 para 1095 casos, um aumento de 45,03% com destaque principal para os edifícios comerciais que somaram 342 ocorrências no período de janeiro à dezembro de 2013.

Diversos dispositivos responsáveis pelo controle e combate de incêndio estão disponíveis no mercado, como os *sprinklers*, extintores manuais e hidrantes. A técnica mais utilizada é o *Sprinkler*, um dispositivo que ao detectar uma variação considerável de temperatura tem seu bulbo (sensor mecânico de calor) rompido, lançando água em todas as direções, ficando inutilizado após um único acionamento. Essa ação, muitas vezes, apaga o fogo antes que este tome grandes proporções, porém pode danificar objetos e locais que não seriam afetados pelo incêndio devido a deposição do elemento combatente (nesse caso, o mais comum a água).

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver um equipamento capaz de detectar o foco de um incêndio em um ambiente fechado e combatê-lo pontualmente, minimizando ao máximo o dano causado por água ou fogo nos equipamentos próximos ao início do incêndio.

II. DESENVOLVIMENTO

A. Pesquisas

Pesquisas foram realizadas a fim de encontrar possíveis soluções de implementação do protótipo responsável pelo combate pontual de focos de incêndios.

Como ponto de partida, foram pesquisados os tipos de incêndio existentes e suas classificações:

- Classe A - incêndio envolvendo combustíveis sólidos comuns, como papel, madeira, pano e borracha;
- Classe B - incêndio envolvendo líquidos inflamáveis, graxas e gases combustíveis;
- Classe C: incêndio envolvendo equipamentos energizados;
- Classe D: incêndio envolvendo metais combustíveis pirofóricos (magnésio, selênio, antimônio, lítio, potássio, alumínio fragmentado, zinco, titânio, sódio e zircônio);
- Classe K: incêndio envolvendo materiais líquidos e sólidos como óleos e gorduras de substâncias comestíveis. [2]

Por ser o tipo de incêndio com maior ocorrência e devido ao grande espaço de armazenamento dos agentes extintores de outras classes de incêndio, o projeto visou combater incêndios da classe A. Logo, o agente extintor a ser utilizado é a água.

A segunda etapa da pesquisa foi focar nos elementos sensores que poderiam indicar o surgimento do foco do incêndio:

- Fumaça: possui um curto tempo de resposta e um baixo custo;
- Sensor de gás: altamente utilizado em locais onde uma faísca é o suficiente para iniciar um incêndio, caracterizando-o como de classe B;
- Sensor infravermelho: envia um feixe de luz para um determinado local que o receberá, indicando qualquer corpo como obstáculo caso o feixe não atinja o alvo;
- Sensor ultrassônico: emite uma onda sonora de alta frequência e aguarda o seu eco. O tempo entre a emissão e a recepção do eco é o que caracteriza o que está na frente, podendo identificar até mesmo a temperatura do objeto;
- Sensor de temperatura: que é capaz de analisar a temperatura do ambiente no qual está instalado. [3][4][5]

O sensor escolhido foi o LM35, um sensor de temperatura que é capaz de identificar a temperatura sob o qual está aplicado e emitir uma tensão equivalente. Este sensor foi escolhido pois é preciso e rápido, sendo o suficiente para

atender as necessidades do projeto.

B. Protótipo

Para o protótipo são utilizados quatro sensores de temperatura distribuídos nas quatro paredes de uma sala cuja função é monitorar constantemente a temperatura de suas respectivas posições. Os valores das temperaturas coletados são enviadas para um controlador central, responsável por tomar todas as decisões. [6]

A central de controle será desenvolvida com a placa de desenvolvimento LaunchPad no microcontrolador MSP430G2553, da empresa Texas Instruments, e o *firmware* desenvolvido na IDE Code Composer Studio 6.0.0. O MSP430G2553 foi escolhido devido às suas características, tais como conversores AD, controle de PWM, fácil manuseio além de ser utilizado em sala de aula no curso de engenharia, sendo assim, os conhecimentos adquiridos poderão ser aplicados fora das aulas.

O protótipo contará com um sistema de engrenagens que são responsáveis por girar o equipamento no plano horizontal e outro sistema de engrenagens para movimentar a mangueira em movimentos verticais (para cima e para baixo). Esta mangueira é ligada em uma válvula solenoide que é responsável por acionar ou não o jato de água. As engrenagens são movidas por um conjunto de motor de passo e servomotor, controlados pelo microcontrolador central. A válvula foi escolhida pois tem uma potência alta, lançando o jato de água em uma distância de aproximadamente 6 metros.

A Figura 1, a seguir, ilustra o desenho mecânico da peça de combate ao foco.

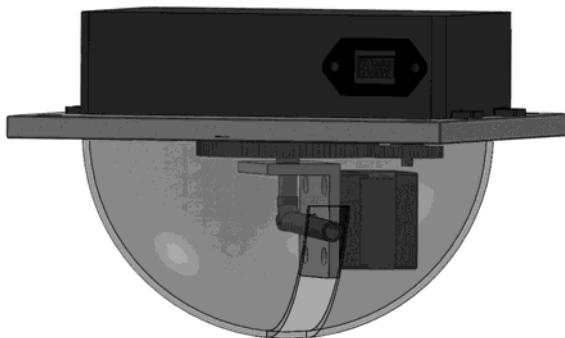


Figura 1- Protótipo 3D

Todo o sistema é alimentado por uma fonte de alimentação de 3,3V, 5V e 12V, sendo esta posicionada em local protegido do fogo e deve ser instalada em um gabinete anti-chama.

III. CONCLUSÕES

O protótipo está em fase de desenvolvimento e, até a presente data da elaboração desse artigo, os sensores de temperatura já estão em operação, assim como a movimentação dos motores, ainda não acoplado ao gabinete final.

Conclui-se que o desenvolvimento desse tipo de equipamento será de suma importância em locais onde há o risco iminente de incêndio pois, além de evitar que as chamas tomem grandes proporções, os danos causados aos materiais no local serão minimizados.

REFERÊNCIAS

- [1] Risco de Incêndios. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/fogo.htm>>. Acesso em: 11 de agosto de 2014.
- [2] SILVA, Alexandre dos Santos. Engenharia de prevenção e combate a incêndios: Combate a incêndio por sprinklers automáticos em bandeja de cabos. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.
- [3] PATSKO, Luís Fernando. Tutorial: Aplicações, Funcionamento e utilização de sensores. Disponível em: <http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr500_0/tutorial_eletronica_-aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2014.
- [4] Sensores. Disponível em: <<http://www.sense.com.br/produtos>>. Acesso em 15 de setembro de 2014.
- [5] SILVA, Nahara Schraiber. Como funcionam os detectores de fumaça. Disponível em: <<http://quimicaeescola.blogspot.com.br/2009/12/como-funcionam-os-detectores-de-fumaca.html>>. Acesso em 15 de setembro de 2014.
- [6] ARRUDA, Renê. Tecnologia em detecção de incêndio. Revista Incêndio. n. 77. p. 22 - 29. Out, 2011.

Análise Microestrutural de uma Ferrita de Cobalto-Cobre

Jéssica Aparecida Nascimento
Ferreira

Instituto de Estudos Avançados -
IEAv
Universidade Braz Cubas - UBC
jessicaanferreira@gmail.com

Mayara dos Santos Amarante
Instituto de Estudos Avançados -
IEAv
Universidade Braz Cubas – UBC
Instituto Tecnológico de
Aeronáutica - ITA
mayara.colaborador@ieav.cta.br

Antonio Carlos da Cunha
Migliano

Instituto de Estudos Avançados -
IEAv
Universidade Braz Cubas – UBC
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
- ITAmigliano@ieav.cta.br

Resumo— A difusão do cobre em cerâmicas magnéticas tornou-se alvo de interesse em função da formação de nanoestruturas com aplicações na área de telecomunicações, na área aeronáutica e na área espacial, considerando a faixa de GHz e THz. Foram realizados ensaios de micrografia em amostras de ferritas de $\text{Cu}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ e submetidas a um tratamento térmico de modo a expor a microestrutura. A ferrita também foi submetida à medida de massa específica aparente. O resultado obtido corroborou com os resultados encontrados na literatura, igual a 5,29 g/cm³ de densidade e densificação a 84%.

Palavras chave— metalografia; Co-Cu; cerâmica magnética.

I. INTRODUÇÃO

As ferritas são cerâmicas eletromagnéticas utilizadas em supressores, filtros de RF e atenuadores. A determinação de suas aplicações dependem de características morfológicas como o tamanho de grão, densidade, porosidade e características do processamento dos materiais. Por meio da análise de micrografia podemos observar essas características para determinar a aplicação desses materiais em dispositivos eletrônicos.

As características de formação da microestrutura são controladas pelas condições do processamento cerâmico, como a preparação e pureza da matéria prima, o tempo e a velocidade de moagem, o gradiente de pressão durante a conformação do pó e as variáveis do processo de sinterização (temperatura, tempo e atmosfera) [1-3].

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi a confecção, tratamento superficial, análise das micrografias e medida da densidade e porosidade da ferrita $\text{Cu}_{0,7}\text{Co}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$, utilizada em sensores eletromagnéticos.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentadas as etapas de lixamento, polimento, tratamento térmico e a medida de massa específica

aparente, bem como, os materiais utilizados nos processos. Medidas da massa específica aparente.

A. Lixamento

Devido ao grau de perfeição requerida no acabamento de uma amostra micrográfica idealmente preparada, é essencial que cada etapa da preparação seja executada cautelosamente, o lixamento é um dos processos mais demorados da preparação de amostras micrográficas.

O lixamento tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície dando um acabamento a esta superfície, preparando-a para o polimento.

Foi utilizada a técnica de lixamento manual que consiste em lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção (90°) em cada lixa subsequente até desaparecerem os traços da lixa anterior.

Foram utilizadas lixas d'água e de granulometrias (180/240/320/400/600/1200).

Para se conseguir um lixamento eficaz é necessário o uso adequado da técnica de lixamento, pois de acordo com a natureza da amostra, a pressão de trabalho e a velocidade de lixamento, surgem deformações plásticas em toda a superfície por amassamento e aumento de temperatura.

B. Polimento

Antes de realizar o polimento deve-se fazer uma limpeza na superfície da amostra, de modo a deixá-la sem traços de abrasivos, solventes, poeiras e outros. A operação de limpeza pode ser feita simplesmente por lavagem com água, porém, aconselha-se usar líquidos de baixo ponto de ebulição, neste caso o álcool etílico para que a secagem seja rápida.

O polimento, que consiste em polir a superfície lixada para torná-la isenta de marcas. O polimento foi realizado através de pasta de diamante com granulometrias (6µm, 3µm, 1µm e 1/4µm) em seus respectivos discos de polimento.

C. Tratamento Térmico

Para a revelação dos grãos das pastilhas, as amostras foram submetidas à temperatura de 1100°C durante 10 minutos. O

ataque térmico foi feito a 100°C abaixo da temperatura de sinterização, neste caso, 1200°C.

D. Medidas da Massa Específica Aparente

A massa específica aparente foi obtida de acordo com a norma ASTM B962-08 [4] que utiliza o princípio de Arquimedes, onde é necessário medir a massa seca (Ms), a massa úmida (Mu) e a massa imersa (Mim) da amostra. Para realizar estas medidas, foi utilizada uma balança da Marte LTDA, modelo SHIMADZU A Y220, o aparato experimental do método de Arquimedes é apresentado na Fig. 1. Após a aquisição das massas Ms, Mu e Mim, a massa específica é calculada utilizando a equação:

$$D_r = \frac{(Ms \cdot \rho H_2 O)}{(Mu - Mim)} \quad (1)$$

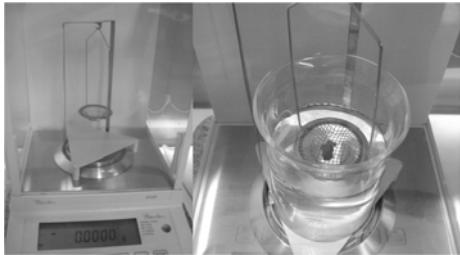


Fig.1. Aparato experimental do Método de Arquimedes.

E. Microscopia Óptica

Estes microscópios operam utilizando luz, sendo por isto chamado de microscópios ópticos. Atualmente os microscópios ópticos são integrados a sistemas analisadores de imagens, que permite a obtenção e análise da imagem obtida (chamada micrografia).

Um dos métodos utilizados para análise de superfície foi o de microscopia ótica, a análise foi realizada utilizando um microscópio óptico da Zeiss, modelo Axio Image A2m. A imagem foi obtida por meio da câmera inclusa no equipamento, modelo AxioCam, e software da Zeiss.

F. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido à maneira com que as imagens são criadas, imagens de MEV tem uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra.

A amostra de ferrita de $Cu_{0,7}Co_{0,3}Fe_2O_4$ no formato de pastilha foi analisadas por um microscópio eletrônico de varredura.

G. Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS)

A espectroscopia de raios-X por dispersão em energia (EDX ou EDS) é uma técnica analítica usada para a análise elementar ou caracterização química de uma amostra. É uma das variantes da espectroscopia por fluorescência de raios-X que se baseia na investigação de uma amostra através

de interações entre partículas ou radiação eletromagnética e matéria, analisando os raios-X emitidos pela matéria em resposta à incidência de partículas carregadas. Suas capacidades de caracterização são devidas em grande parte ao princípio fundamental que cada elemento tem uma estrutura atômica única, de modo que os raios-X emitidos são característicos desta estrutura, que identificam o elemento.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção são apresentadas a medida de massa específica aparente, a análise de microscopia óptica, a análise de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). A massa específica medida por meio do método de Arquimedes resultou nos dados apresentados na Tabela I. Nesta tabela também são apresentados os dados da massa específica teórica relativa e os percentuais de densificação.

TABELA I
VALORES DE DENSIDADE TEÓRICAS E RELATIVAS E A PORCENTAGEM DE DENSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS Co-Cu.

AMOSTRA	DENSIDADE TEÓRICA (g/cm ³) (±0,01)	DENSIDADE RELATIVA (g/cm ³) (±0,01)	% DENSIFICAÇÃO
$Co_{0,3}Cu_{0,7}Fe_2O_4$	5,29	4,53	84

As amostras apresentaram as características de densificação esperadas devido à estequiometria e características de sinterização [5].

A amostra de ferrita de $Cu_{0,7}Co_{0,3}Fe_2O_4$ foi utilizada para visualização por microscopia óptica (MO) após o processo metalográfico. A visualização foi feita com aumento de 100x do original para a observação dos grãos da amostra, Fig. 2.

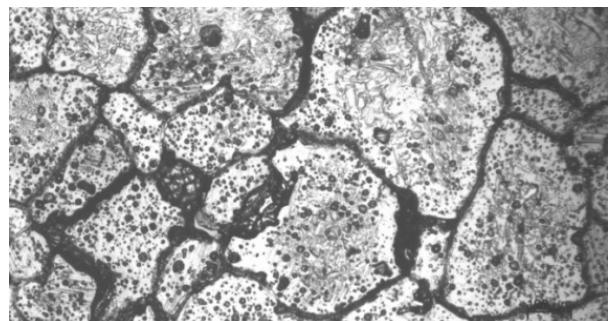


Fig.2. Microscopia óptica - Ferrita $Cu_{0,7}Co_{0,3}Fe_2O_4$ com aumento de 100x do original.

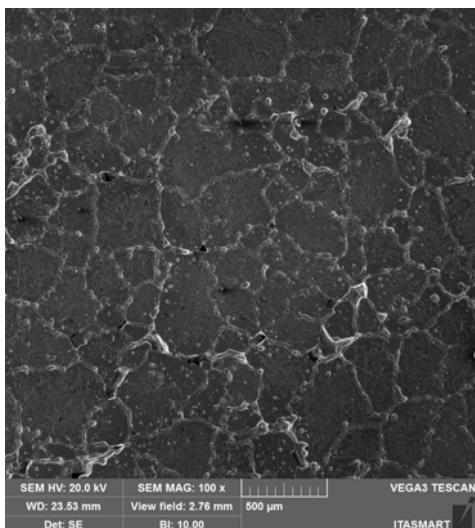


Fig.3. Microscopia eletrônica de varredura - Ferrita $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ com aumento de 1000x do original.

A amostra de ferrita de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ foi analisada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) após a análise em microscópio óptico. A visualização foi feita com aumento de 100x do original para a observação dos contornos de grão da amostra, Fig. 3.

A amostra também foi visualizada com aumento de 1000x do original para a observação de um grão da amostra, Fig. 4.

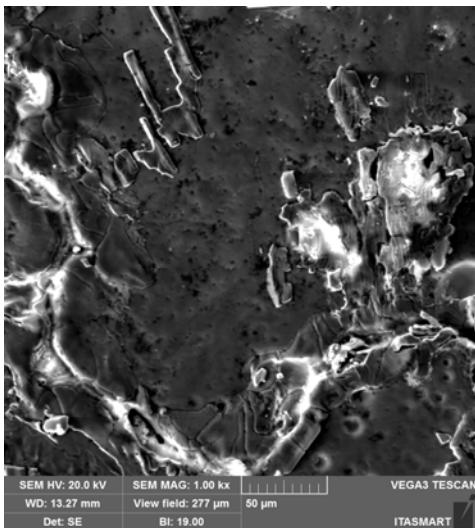


Fig.4. Microscopia eletrônica de varredura - Ferrita $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ com aumento de 1000x do original.

A amostra foi analisada por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) no intuito de verificar qualitativamente a composição da amostra, Fig. 5.

A análise qualitativa da composição mostrou que o óxido cúprico está em maior concentração nos contornos de grãos. Este fato confirma a difusão intergranular do óxido cúprico, porém, além da concentração de óxido cúprico nos contornos de grão, observou-se grande quantidade de oxigênio distribuído por toda a amostra, e em menor quantidade nos contornos de grão onde se localiza o óxido cúprico difuso.

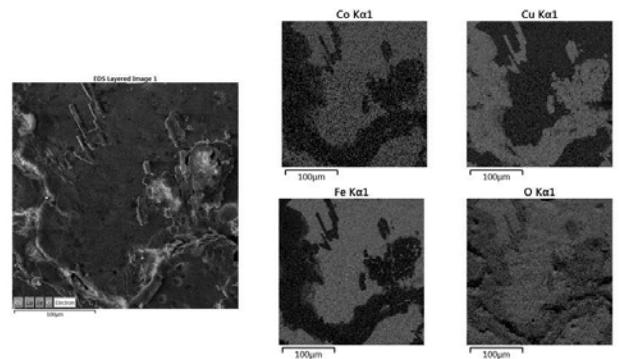


Fig.5. Microestrutura analisada por EDS - Ferrita de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ com aumento de 1000x do original.

A sinterização da amostra foi feita em forno mufla sem controle da atmosfera. A amostra ficou exposta ao oxigênio em todos os momentos de seu processamento, inclusive durante as análises em que não são realizadas em câmaras com vácuo [6].

IV. CONCLUSÕES

A análise de massa específica aparente apresentou uma densificação de 84%, característica esperada pela ferrita de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$, conforme as características de sinterização e estequiometria. A amostra foi analisada em microscópio óptico, a imagem mostrou que os grãos são grandes e os possíveis poros são preenchidos com o óxido de cobre, o que está de acordo com a alta densificação da amostra.

O cobre Cu ficou concentrado nos contornos de grão da amostra, conforme análise qualitativa em EDS.

V. REFERÊNCIAS

- [1] J. F. Shackelford, *Introdução à ciência dos materiais para engenheiros*. São Paulo, 2008 pp. 44-69.
- [2] W. D. Callister Junior, *Materials science and engineering: an introduction*. New York, 2007 pp.334-352.
- [3] S. I. Pyun and J. T. Baek, "Microstructural dependence of permeability and permeability spectra in Ni-Zn ferrites," American Ceramic Society Bulletin, vol. 64, no. 4, pp. 602–605, 1985.
- [4] American Society for Testing and Materials B962-08:2008, Standard test methods for density of compacted or sintered powder metallurgy (PM) products using archimed's principle. Mest Conshorocken, PA, 2008.
- [5] A. C. C. MIGLIANO, "Desenvolvimento de cerâmicas com aplicações em encapsulamento de sensores e RADOME" In: XIII Workshop Anual de Pesquisa e Desenvolvimento do IEAv, 2013, vol. 6. pp. 93-93, 2013.
- [6] [6] M.S. Amarante. (2014, December). Análise microestrutural da difusão dos óxidos de cobre I e II em ferritas de cobre e de cobalto dopadas com cobre. (1rs ed.) [Online]. Disponível: http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=67711

Interação óptica com a matéria e formação de ondas superficiais de plasmons

Caroline Cristiane Pereira

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
carolinep@gee.inatel.br

Diego Alvarenga Parreira

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
diegoalvarenga@gee.inatel.br

José Antônio Justino Ribeiro

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
justino@inatel.br

Resumo— Esse trabalho trata de um estudo sobre a interação de ondas eletromagnéticas com uma superfície condutora. Devido à energia contida em uma onda eletromagnética, é possível criar um campo secundário no material metálico que pode ser espalhado para as regiões envolvidas. Esse fenômeno é caracterizado como plasmon e acontece quando uma película metálica for depositada sobre um meio dielétrico. Este processo tem um grande potencial para a criação de elementos irradiantes em escala nanométrica, sensores biomédicos e outros componentes para diferentes usos, como no setor de telecomunicações.

Palavras-chave— Nanoplasmônica, ressonância plasmônica.

I. INTRODUÇÃO

A nanoplasmonica é uma área que estuda a interação de ondas eletromagnéticas com materiais condutores. A incidência de uma onda eletromagnética na superfície de separação entre um metal e um dielétrico provoca oscilações na densidade de elétrons do meio condutor. Em consequência, dá origem a campos eletromagnéticos que se propagam a partir dessa excitação. Experiências com a prata mostraram que ocorrem interações de feixes ópticos com camadas de átomos de espessuras muito pequenas, formando pacotes de energia eletromagnética que se deslocam no meio. Esses pacotes são denominados *plasmons*, termo criado a partir da junção das palavras *plasma* e *fóton*.

O fóton é um pacote de energia eletromagnética de determinado comprimento de onda, quase sempre considerado para a faixa de luz, isto é, a partir de freqüências do infravermelho. O plasma é uma concentração de elétrons livres, obtidos a partir da ionização do material. Os efeitos são mais sentidos quando a onda incidente possuir frequência próxima dos valores de vibração dos elétrons [1] gerando a ressonância de plasmons de superfície. O estudo do tema em escala nanométrica possibilita diferentes aplicações, como o desenvolvimento de sensores, aplicações em telecomunicações, estudo de novas propriedades de propagação, etc. O objetivo desse trabalho é levantar informações sobre o tema para emprego em telecomunicações, incluindo a interação com sistemas irradiantes, interações com o meio de propagação, dimensionamento de componentes, e assim por diante. [2]

II. APRESENTAÇÃO DO PLASMA

O plasma é considerado o quarto estado da matéria, conforme as alterações de fase esquematizadas na Fig. 1. Diversos corpos na natureza, como é o caso das estrelas, são em forma de plasma. Por esta razão, admite-se que mais de 99% de toda a matéria do universo é em forma de plasma. [1] Segundo o esquema da Fig. 1, um meio sólido pode passar para o estado líquido e gasoso, conforme o aumento da temperatura. No estado gasoso, a elevação da temperatura ou o fornecimento de outra forma de energia pode levar a uma dissociação de moléculas e átomos, com a liberação de elétrons e formação de íons, situação que caracteriza o plasma. Em uma situação mais geral, o plasma pode ser formado a partir de um gás ionizado contendo íons positivos, íons negativos, átomos neutros e elétrons livres. O número de elétrons livres é praticamente igual ao número de íons positivos, tornando o plasma um meio eletricamente neutro.

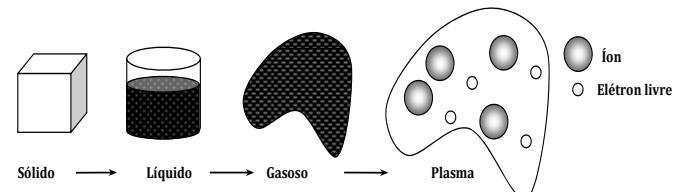


Fig. 1. Representação de diferentes estados da matéria que possam levar à formação de um plasma.

Para a constituição do plasma, é necessário atender a algumas condições específicas. Depende da ação de campos elétricos com energia suficiente para causar maior agitação das moléculas, conduzindo à maior concentração de partículas com cargas elétricas positivas e negativas. [3] Essas partículas interagem e causam movimentos internos e, simultaneamente sofrem influência de campos externos.

III. FREQUÊNCIA DE VIBRAÇÃO DO PLASMA

Em condições normais, o plasma encontra-se em equilíbrio elétrico, com suas cargas elétricas distribuídas de maneira praticamente uniforme. Porém quando sofrer influência de uma onda eletromagnética, as partículas carregadas sofrerão ações do campo eletromagnético, conforme descrito pela lei de Lorentz. Comparando as componentes de origem elétrica e magnética, verifica-se que a parcela oriunda do campo elétrico

da onda é muito mais intensa que a força magnética enquanto a velocidade das partículas for muito menor do que a velocidade da luz no meio. Assim a componente devida ao campo magnético da onda pode ser desconsiderada nas análises dos movimentos das cargas. [4]

Quando o plasma receber uma onda eletromagnética, seus elétrons são deslocados de sua posição inicial levando a uma maior concentração em determinada região de pequenas dimensões. O desequilíbrio de cargas dá origem a um campo elétrico interno que aponta na direção oposta ao deslocamento. Esse campo elétrico atua como uma força restauradora e ao causar o movimento para reposicionamento das cargas, a inércia faz com que ultrapassem o ponto de repouso, dando origem a outra concentração nessa nova posição. Logo, repetem-se os acontecimentos e o movimento contínuo dá origem a uma vibração das cargas em torno de um ponto de equilíbrio. Aplicando a lei de Gauss e a lei do movimento de partículas, a solução das equações pertinentes mostra a existência de um movimento harmônico simples. [5] A expressão que define a frequência de vibração do plasma é

$$f_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Ne^2}{m\epsilon_0}} \cong 9\sqrt{N} \quad (1)$$

sendo m a massa em repouso do elétron ($9,11 \times 10^{-31}$ kg) e é o valor absoluto da sua carga ($1,602 \times 10^{-19}$ C), ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo ($8,8542 \times 10^{-12}$ F/m), N é a quantidade de elétrons livres por unidade de volume e ω_p é chamada de frequência angular do plasma. O resultado no membro da direita de (1) advém da substituição destes valores.

IV. DEFINIÇÃO DE PLASMON

O plasmon pode ser descrito como uma parcela de oscilação do plasma. Como visto, o movimento dos elétrons é caracterizado por uma vibração resultante de oscilações em torno de um ponto de equilíbrio. Nos metais é possível observar um comportamento análogo, uma vez que são meios caracterizados por nuvens de elétrons livres e átomos e moléculas fixas em sua rede cristalina. Portanto, apresenta um excesso de cargas livres que sofrem alterações de posição quando excitadas por uma onda eletromagnética. Logo, se um metal sofrer a influência de uma onda eletromagnética essa nuvem de elétrons move-se em torno de um ponto de equilíbrio, em um movimento de oscilação semelhante ao do plasma gasoso. Desta vez, porém, as forças restauradoras são originadas pela repulsão mútua entre as cargas somadas à força de atração dos núcleos dos átomos sobre os elétrons. Tal comportamento do metal nomeia-o como um tipo de plasma sólido

A frequência de oscilação dependerá da freqüência da onda eletromagnética incidente no metal, da intensidade da força restauradora e da massa das partículas em movimento. Esse movimento inclui formação de dipolos elétricos que se movimentam senoidalmente no tempo. Se a frequência de oscilação for igual à da onda incidente, resultarão em modos de vibração plasmônicos que geram campo eletromagnético secundário. (Fig. 2). Se o plasmon receber uma quantidade de energia entre 1keV e 10keV, e gera uma energia da ordem de 10eV.

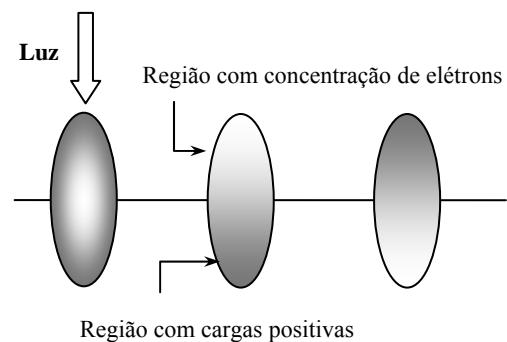


Fig.2: Movimento de oscilação dos elétrons em uma pequena região de um metal.

V. RESSONÂNCIA DE PLASMON DE SUPERFÍCIE

A ressonância de plasmon de superfície (SPR) ocorre para certos comprimentos de onda relacionados com uma freqüência específica para cada material. Esta condição exige que a freqüência natural do material seja próxima da freqüência da onda incidente. Além disto, o feixe de luz deve incidir em um ângulo bem determinado, pois fora deste valor a luz sofre elevada reflexão. Nesse ângulo, chamado ângulo de ressonância, ocorre a reflexão interna quase total e apenas uma pequena parcela de luz é transferida para o meio original.

Por causa deste comportamento, a teoria eletromagnética mostra que os plasmons propagam-se nas proximidades da interface metálica e têm espectros de freqüência relacionados a um vetor de onda de superfície que será identificado como k_{sp} . Este parâmetro depende das propriedades eletromagnéticas do meio e está associado a uma relação descrita por:

$$k_{sp} = \left(\frac{\omega}{c} \right) \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}} \quad (2)$$

onde ω é a freqüência angular da onda incidente, c é a velocidade da luz no vácuo, ϵ_1 é a permissividade elétrica do metal e ϵ_2 do meio externo que estiver em contato com ele. Demonstra-se que ϵ_1 é uma grandeza complexa, descrita por

$$\epsilon_1 = \epsilon'_1 - i\epsilon''_1 \quad (3)$$

que determinará para k_{sp} também um valor complexo e que sofre uma variação não-linear com a freqüência.

Esta propriedade indica que outros valores associados à onda eletromagnética como velocidade de fase, velocidade de grupo e suas variações com a freqüência conduzirão a alterações significativas no formato do sinal óptico incidente. Este fato caracteriza a dispersão do meio. Em (2), o fator (ω/c) é o número de onda no espaço livre e, nesse ambiente, seu valor varia linearmente com a freqüência. Na região metálica, o vetor de propagação é

$$k_1 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_1} \quad (4)$$

um resultado complexo, em função da permissividade ϵ_1 . Por conseguinte, na solução da equação de onda, que descreve os campos elétrico e magnético na região, este valor complexo mostrará amplitudes decrescentes de maneira exponencial com

a distância percorrida, além da modificação não linear da variação de fase por unidade de deslocamento. A redução nas amplitudes dos campos até a extremidade da região metálica depende da sua espessura. Para os materiais usuais, como o ouro e a prata, já citados, os campos praticamente desaparecem em uma película de espessura muito pequena e constituem, fundamentalmente, *campos evanescentes* no meio.

VI. PRINCIPAIS FORMAS DE EXCITAÇÃO DO PLASMON

Diferentes estruturas podem ser empregadas para a excitação dos plasmons, como a excitação por grade, a configuração de Otto e a configuração de Kretschmann. Estes procedimentos estão ilustrados na Fig.3. [6] Na excitação por grade o feixe de luz incidente dá origem aos plasmons ao serem transferidos ao meio por um acoplador dispersivo em forma de prisma, como na Fig.3(a). Isto será possível se na interface de acoplamento houver uma modificação periódica determinada por um parâmetro conhecido como *constante de grade* (*b*). Neste caso, o vetor de onda do feixe óptico incidente sofre uma modificação em seu valor original de uma quantidade igual a $2\pi/b$.

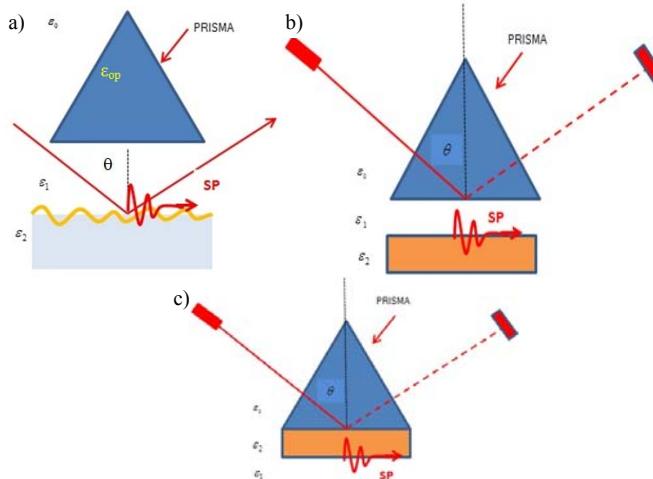


Fig. 3. a) Excitação dos plasmons de superfície pela incidência de luz em uma grade desenvolvida no meio. b) Esquema representativo da excitação empregando o processo de Otto. c) Esquema básico da excitação empregando o método de Kretschmann.

Para esta forma de excitação, a relação de dispersão do plasmon de superfície está associada a um vetor paralelo à interface dos dois meios. Especificando um ângulo θ_o para o feixe óptico incidente, a condição de ressonância exige que seja satisfeita a seguinte condição:

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)\sin\theta_o + \frac{2\pi}{b} = \left(\frac{\omega}{c}\right)\sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_2 + 1}} \quad (5)$$

Na configuração de Otto, mostrada na Fig.3(b), o feixe óptico será desviado para baixo segundo um ângulo que depende da constante dielétrica ϵ_{op} referente ao material com que for construído o prisma. Assim, uma onda evanescente penetrará o material até chegar a interface entre o metal e o ar. As condições para a excitação dos plasmons exigem que

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)\sqrt{\epsilon_{op}} \sin\theta_o = \left(\frac{\omega}{c}\right)\sqrt{\frac{\epsilon_2 \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1}} \quad (6)$$

sendo, para esta análise, ϵ_2 a permissividade da região metálica, ϵ_1 a permissividade do vidro do prisma. Entre os dois meios, tem-se uma camada de dielétrico adicional com permissividade menor que a do vidro ϵ_1 . A ressonância ocorrerá entre a interface metálica e a superfície do dielétrico. A separação entre o prisma e o metal deve ser bem pequena, com espessura de aproximadamente de $1\mu\text{m}$. Estas exigências dificultam a utilização do processo de Otto.

Na terceira configuração, conhecida como geometria de Kretschmann, mostrada na Fig.3(c), uma fina camada de metal é depositada sobre uma camada dielétrica e atua como um espaçador. A escolha de uma espessura adequada para o metal garante que o campo evanescente estenda-se até o lado oposto da interface e, desta maneira, criam-se as condições para a formação do plasmon.

Além da escolha da estrutura empregada para a criação das ondas de superfície, é possível alterar o ângulo de incidência na superfície. Um dos métodos sugeridos utiliza um ângulo pré-fixado e é conhecido como monitoramento por ângulo fixo. O outro procedimento faz a detecção de um feixe óptico focalizado em uma pequena região da superfície. Neste método, o ângulo de incidência do feixe de luz é ajustado com pequenas rotações no prisma para se obter reflexão interna total. Mudanças no ângulo de ressonância são detectadas através da alteração na intensidade da luz refletida, que ocorre quando o sistema sair da condição de ressonância. Mesmo com mudanças da ordem de um grau, haverá modificação acentuada no feixe óptico detectado.

O segundo método usa um feixe de luz focalizado segundo mais de um ângulo de incidência. Para isto, empregam-se vários feixes de luz aplicados em um mesmo ponto, porém com diferentes ângulos de incidência. Com isto, monitora-se toda a curva de ressonância de plasmon de superfície sem necessidade de rotação no prisma. O monitoramento é feito por um sensor que mede a intensidade de luz refletida. Geralmente, esse detector emprega uma rede de dispositivos de cargas acopladas (CCD, *charge-coupled devices*). A intensidade da luz refletida usualmente fica entre 1,30 e 1,40 cd e o ângulo típico para obter as informações procuradas é da ordem de 10° .

VII. DETERMINAÇÃO DO CAMINHO ÓPTICO

O caminho óptico é definido como uma estrutura experimental baseada na geometria de Kretschmann, que monitora a curva de SPR. Tem o objetivo de melhorar a precisão e a sensibilidade do equipamento através de técnicas de supressão de ruídos, procedimentos para compensação da flutuação da luz e estruturas adicionais para aquisição dos dados e sua conversão para uma seqüência digital. (Fig. 4).

O monitoramento da SPR segundo uma estrutura de Kretschmann utiliza um laser, um circuito comutador/amostrador, dois sincronizadores, um conversor analógico/digital (A/D), um divisor de feixe óptico, um motor de passo, um computador e um circuito de realimentação. O laser é o dispositivo responsável pela formação de um feixe óptico que passa por

um divisor de potência. Uma parcela desse feixe é encaminhada para o fotodetector D_1 que fornecerá em sua saída uma tensão contínua proporcional à potência óptica incidente. Esta tensão é aplicada a um dispositivo de sincronização S_1 . A outra parte do feixe incidirá na estrutura de Kretschmann, onde acontece a reflexão da luz na interface metal-dielétrico. A luz refletida é detectada em um segundo fotodetector (D_2) que gera outro nível de tensão contínua a ser aplicada em um segundo sincronizador (S_2). Além disto, os sincronizadores são alimentados com o sinal de um comutador e será possível obter na saída dos sincronizadores um sinal modulado em amplitude. Os valores máximos deste sinal são iguais à intensidade do nível de tensão contínua gerada pelo feixe óptico que entrou em cada um deles.

Esses dados passarão por um conversor analógico/digital e serão comparados entre si. Resultados fora da condição esperada enviam um sinal a um motor de passo que efetuará um movimento no prisma capaz de alterar sua posição, modificando o ângulo de incidência na interface metal-dielétrico. A resposta ideal acontece quando se obtém a máxima variação entre a amplitude das duas ondas, já que a intensidade da luz refletida é mínima para o ângulo de ressonância. A sensibilidade óptica desse equipamento depende do material usado, sendo admitida uma variação de espessura da ordem de $0,1\mu\text{m}$ para amostras expostas ao ar e em torno de $1\mu\text{m}$ para amostras expostas à líquidos.

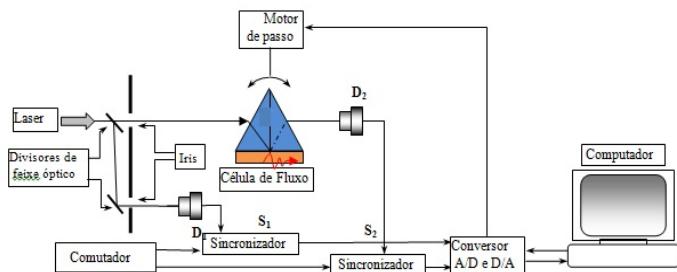


Fig. 4: Percurso óptico típico para o equipamento de identificação de múltiplos parâmetros em um sistema ressonância plasmônica de superfície (MP-SPR).

VIII. MODELAGEM DA RESSONÂNCIA DE PLASMONS

A curva de SPR e a intensidade da luz refletida em um sistema multicamadas, para um feixe óptico com polarização paralela do campo elétrico, podem ser descritas quantitativamente pelas equações de Fresnel usuais no estudo da reflexão na interface de dois meios. *Erro! Indicador não definido.* [1] Isso possibilita a realização de simulações numéricas e processos de previsão da eficiência do sensor. É possível verificar, por exemplo, que o sinal originado em uma SPR nos líquidos podem ser melhorados pela introdução de uma camada dielétrica entre o dielétrico (ϵ_{op}) e o metal (ϵ_2) e que ruídos podem ser amenizados através da adição de uma camada de alta permisividade entre o metal (ϵ_2) e a substância a ser analisada (ϵ_1). Também pode-se modelar a ressonância superficial do plasma com cálculos efetuados com o auxílio de um programa de computador. Para isto, calculam-se os coeficientes de reflexão e de transmissão para a luz polarizada em uma estrutura estratificada. *Erro! Indicador não definido.* [5] Essa região é constituída por

camadas intercaladas de um substrato semi-infinito (representado pelo prisma) e o ambiente externo. Para uma análise simplificada, admite-se que os meios sejam lineares (propriedades independentes da amplitude dos campos), homogêneos (propriedades independentes da posição de interesse) e isotrópicos (propriedades independentes da direção dos campos aplicados). A Fig 5 representa o esquema descrito, com os destaque para as diferentes partes envolvidas na análise.

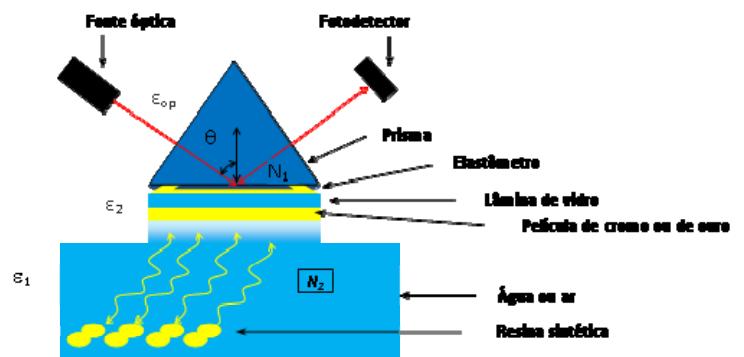


Fig. 5. Estrutura de múltiplas camadas para modelagem matemática da ressonância de plasmons de superfície

Para a execução do programa, os dados de entrada devem incluir os índices de refração e espessura do meio. Como o prisma tem por objetivo definir a direção de incidência do feixe óptico, não é considerado como uma das camadas estratificadas. Por isto, sua espessura nos dados de entrada aparece com valor nulo. Desta maneira, as diferentes camadas implicam em relações matemáticas que permitem a constituição de uma matriz de espalhamento em que os campos envolvidos ficam relacionados pelos respectivos coeficientes de reflexão e de transmissão, segundo os resultados obtidos com as aplicações das equações de Fresnel.

No caso geral, mostrou-se que a permissividade do meio é uma grandeza complexa. Desta maneira, o índice de refração N também constitui um valor complexo. Ao se introduzir no cálculo do número de onda, este apresentará uma parte real e uma parte imaginária, responsável pela atenuação que o sinal sofrerá no meio. Alguns dos valores associados às diversas camadas estão na Tabela 1, correspondentes aos materiais nela destacados.

É possível, ainda, adotar um procedimento oposto ao anterior, isto é, adequando-se os valores medidos a um modelo teórico. Neste caso, os resultados permitem identificar os elementos que constituem a superfície metálica, incluindo a espessura das amostras e as partes real e imaginária que formam a correspondente constante dielétrica. O ajuste a uma curva teórica dos valores medidos permitem encontrar as soluções confiáveis independentes de erros introduzidos pelos equipamentos de medição. Por este método, é possível incluir as influências das rugosidades que existem em todas as superfícies reais.

TABELA I

CAMADAS ENVOLVIDAS NA ANÁLISE, SEUS MATERIAIS E ESPESSURAS.

Camada	Espessura (nm)	Real de N	Imaginária de k
Prisma	0	1,5140	0
Elastômetro	100.000	1,5140	0
Lâmina de vidro	550.000	1,5140	0
Camada de cromo	1,97	2,9512	2,9584
Película de ouro	49,88	0,1995	3,6525
Resina sintética	1,90	1,4420	0
Ar	0	1,000273	0
Água	0	1,33166	0

IX. CONCLUSÃO

Demonstrou-se que é possível a criação de um campo eletromagnético na superfície de material condutor com frequência específica. Essa onda pode propagar em metais nobres de espessuras bem finas, na ordem de nanômetros, sobrepostas a um material dielétrico. Já existem aplicações de dispositivos que empregam esta tecnologia na área de biomédica para a análise de soluções em dimensões moleculares. Existem muitas áreas em estudo, como na construção de componentes e dispositivos para uso em telecomunicações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela concessão de bolsas de iniciação científica que permitiram a elaboração deste trabalho.

X. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1]RIBEIRO, J. A. *Propagação das ondas eletromagnéticas: princípios e aplicações*. São Paulo: Érica, 2004.
- [2]SOUZA, N. W. P. *Desenvolvimento de um algoritmo computacional MoM 3D aplicado em nanoplasmônica*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, 2012.
- [3]Ministério da Ciência e Tecnologia. *LAP - Laboratório de Plasma Instituto nacional de pesquisas espaciais*. Disponível em: <http://www.guia.heu.nom.br/plasma.htm> Acesso em: 02/03/2014
- [4]RAMO, S.; WHINNERY, J. R.; VAN DUZER, T. *Fields and waves in communication electronics*. 3rd. Ed. New York: John Wiley, 1995.
- [5]HAYT, W. H.; BUCK, J. A. *Eletromagnetismo*. 6.^a Ed. Trad. de Antônio Romeiro Sapienza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003.
- [6]BIONAVIS. *The versatile SPR system*. Disponível em: <http://www.lot-qd.de>. Acesso em 28 Aug. 2014

Avaliação de Custos Completos: uma aplicação em usinas de geração de energia elétrica

Profa. Dra. Denise Helena Lombardo Ferreira¹

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC-Campinas

Faculdade de Engenharia de Produção
lombardo@puc-campinas.edu.br

Carolina Baron

Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC-Campinas

Faculdade de Engenharia de Produção
carolina.b2@puccampinas.edu.br

Resumo—O presente trabalho tem por objetivo utilizar a metodologia Avaliação de Custos Completos para resolver problemas relacionados com a temática ambiental, mais precisamente com relação a obtenção de energia elétrica. Foram considerados os aspectos ambiental, social e técnico-econômico, que juntamente, analisam a viabilidade de usinas de geração de energia elétrica distribuídas pelo Brasil. As análises envolveram as usinas nuclear, eólica, termelétrica e hidrelétrica. O resultado obtido permite visualizar a usina de geração de energia elétrica do Brasil mais promissora do ponto de vista da Avaliação de Custos Completos. A usina eólica foi a que obteve a melhor valoração final nesta classificação, demonstrando, portanto, ser a melhor opção de investimento nesse setor.

Palavras-chave—Custos completos, Meio ambiente, Sustentabilidade, Usinas de geração de energia elétrica.

I. INTRODUÇÃO

A atividade humana, principalmente a de caráter industrial vêm impactando o ecossistema e seus recursos ambientais há décadas, desde os primórdios da industrialização na Inglaterra, no século XVIII, período de grandes descobertas no processo produtivo. Este cenário se intensifica conforme os avanços tecnológicos e o crescimento populacional juntamente com a falta de conscientização da sociedade.

Devido ao agravamento da situação ambiental torna necessária a busca por métodos menos impactantes e agressivos ao meio ambiente, que utilizem o mínimo possível dos recursos naturais. É necessário que a sociedade desenvolva técnicas que contemplam o equilíbrio entre os seres humanos e o mundo natural.

O aumento crescente do consumo de energia elétrica demanda estudos que levam em consideração os mais variados fatores no processo decisório da opção mais viável.

[1] ressalta que a vida moderna tem sido movida a custa de recursos esgotáveis que levaram milhões de anos para se formar. Por exemplo, as reservas de petróleo devem durar não mais que 75 anos, as de gás natural um pouco mais de 100 anos e as reservas de carvão por volta de 200 anos. A autora acrescenta que a utilização das energias renováveis

em substituição aos combustíveis fósseis é uma alternativa viável e vantajosa.

Com a finalidade de contribuir para a reflexão dos problemas no setor energético, o presente trabalho faz uso da Avaliação de Custos Completos (ACC) para auxiliar na tomada de decisão no processo de preservação do meio ambiente, mais especificamente no tocante à temática energia elétrica.

A. Avaliação de Custos Completos

O conceito de Avaliação de Custos Completos - ACC é uma metodologia baseada na identificação e avaliação de dados sobre impactos externos e custos/benefícios das atividades em questão. Por meio desta ferramenta é possível analisar os fatores técnico-econômicos, ambientais, sociais e políticos com a mesma importância. Os fatores necessários para um processo de tomada de decisão podem ser identificados e tratados, visando satisfazer os conceitos de desenvolvimento sustentável e planejamento de recursos.

Diversos elementos de análise são valorados a partir de dois tipos de ponderação: 1) alternativas de cada elemento e análise e 2) peso de cada elemento de análise. Segundo [2] estes dois critérios possibilitam que cada elemento de análise seja avaliado de acordo com as opções disponíveis. As alternativas são consideradas por valores percentuais, variando da melhor (100%) a pior alternativa (25%), com a seguinte classificação: Excelente (100%), Satisfatória (75%), Regular (50%), Insatisfatória (25%).

Os fatores considerados devem ter a mesma importância e para isso a valoração máxima para todos eles é de 100 pontos (Equação 1).

$$X \cdot A + Y \cdot B + Z \cdot C = 100 \quad (1)$$

Onde:

A, B e C: Valoração de cada Elemento de Análise – Depende da importância atribuída ao Elemento de Análise dentro do Fator considerado, considerando A = máxima importância (A = 300), B = 2/3 da máxima importância (B = 200) e C = 1/3 da máxima importância (C = 100).

¹D. H. L. Ferreira (lombardo@puc-campinas.edu.br) e C. Baron (carolina.b2@puccampinas.edu.br) pertencem a Faculdade de Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campus I, Rodovia Dom Pedro I, km 136 – Parque das Universidades, Campinas–SP–Brasil – 13086-900.

X, Y e Z: Número de ocorrências dos Elementos de Análise com a valoração A, B ou C, respectivamente.

A partir da definição dos Elementos de Análise e de seus respectivos pesos (A, B ou C) é feito o cálculo do KFC (Constante do Fator Considerado), Equação 2.

$$KFC = (300X + 200Y + 100Z)/100 \quad (2)$$

ou simplesmente, a Equação 3.

$$KFC = 3X + 2Y + Z \quad (3)$$

A Valoração por Elemento de Análise (VLA) é obtida pela Equação 4.

$$VLA = \{peso(A ou B ou C) / KFC\} * alternativa \quad (4)$$

Por fim é obtida a Valoração do Fator (VF) (Equação 5).

$$VF = \sum VLA \quad (5)$$

Com a intenção de esclarecer a aplicação da metodologia Avaliação de Custos Completos, a Tabela 1 destaca um exemplo numérico apresentando o Fator considerado com os Elementos de Análise, seus respectivos pesos e alternativas, a Valoração do Elemento de Análise e a Valoração do Fator [3].

TABELA I
EXEMPLO NUMÉRICO DA TABELA DE CUSTOS COMPLETOS.

FATOR CONSIDERADO		Peso do Elemento de Análise		25%	50%	75%	100%	Valoração Final atribuída ao elemento de análise
	Elemento de Análise	Símbolo	KFC					
Elemento 1	A	15						10,00
Elemento 2	B							13,33
Elemento 3	A							20,00
Elemento 4	C							3,33
Elemento 5	C							1,66
Elemento 6	A							15,00
Elemento 7	B							10,00
PONTUAÇÃO TOTAL DO FATOR CONSIDERADO				73,32				

No exemplo numérico da Tabela 1, o valor do KFC é 15 ($3*3+2*2+2$, pois há três Elementos de Análise com Valoração A, dois Elementos de Análise com Valoração B e dois Elementos de Análise com Valoração C). É destacado o cálculo feito para a Valoração dos Elementos de Análise 1, 5 e 7, obtidos pelas Equações 6, 7 e 8, respectivamente.

$$VLA_1 = (300/15)*50\% = 10,00 \quad (6)$$

$$VLA_5 = (100/15)*25\% = 1,66 \quad (7)$$

$$VLA_7 = (200/15)*75\% = 10,00 \quad (8)$$

[4] acrescentam que a ferramenta ACC foi inicialmente desenvolvida para contabilizar os custos provenientes de impactos ambientais causados por um empreendimento. Adicionalmente, [5] assinala que mais tarde esse conceito foi usado para contabilizar todos os custos inerentes ao empreendimento, como fatores sociais e políticos.

Como destacam [6], por meio da ACC podem ser identificados e tratados algumas variáveis necessárias ao processo de decisão, e se presta à aplicação de metodologias com vistas ao desenvolvimento sustentável, por propiciar o tratamento de elementos que tradicionalmente não tomam parte nos planejamentos.

Para [4], nas avaliações tradicionais se faz uma avaliação econômica (considerando basicamente os custos internos), onde não são considerados os custos ambientais, sociais, culturais etc.; ou quando são considerados, são delegados a um segundo plano. Esta forma de avaliação é inconsistente dentro de um Planejamento Integrado de Recursos, pois ao desconsiderar os custos externos, pode-se chegar na escolha de um determinado recurso que não é o mais adequado.

No tocante ao tema geração de energia, para [2] a ferramenta ACC revoluciona a forma de se avaliar a viabilidade de uma usina, pois normalmente eram considerados apenas aspectos ligados ao investimento, construção da usina e seu retorno financeiro, entretanto, há necessidade de considerar outros fatores relacionados a viabilização ou não do empreendimento. Atualmente, o meio ambiente, a população, e as decisões políticas possuem importância fundamental e o “desenvolvimento a qualquer preço” não justifica a degradação ambiental e da qualidade de vida, fatores que atualmente são questionados pela sociedade organizada.

B. Fatores a serem considerados

Tendo em vista os diferentes fatores necessários para compor a sustentabilidade, diversos autores apresentam temáticas variadas relativas ao mesmo conceito. Nesse sentido, [7] considera a composição dos fatores econômicos, ambientais e sociais. Uma análise considerada tradicional utilizaria apenas elementos técnicos e econômicos para a viabilização de um empreendimento. Concordando com [7], o presente trabalho faz uso dos fatores técnico-econômico, ambiental e social para tomada de decisão.

B.1. Fator técnico-econômico

De acordo com [2], esse fator reflete a visão do empreendedor e do investidor ao buscar retorno de seu capital investido através da venda da energia a ser produzida pela usina que deve operar em um período de tempo definido.

B.2. Fator ambiental

[2] ressalta que esse fator representa a visão dos órgãos oficiais e das entidades de proteção ao meio ambiente.

Portanto, para que a viabilização das usinas geradoras seja possível é necessário que não haja oposição destes órgãos, ou seja, que o projeto em questão não degrade o meio ambiente.

B.3. Fator social

Segundo [2] esse fator é caracterizado pela população afetada devido a construção das usinas. A instalação da usina causa muitos impactos na sociedade local. Impactos relacionados com a emissão de poluentes ou então disfunção nas atividades econômicas locais, como a pesca, agricultura e turismo, causam deslocamentos populacionais em razão da má qualidade de vida local.

C. Caracterização das usinas

Para a criação de um modelo que avalie tanto os aspectos positivos quanto negativos de uma usina, é preciso conhecer suas características. A seguir são apontadas algumas dessas características.

C.1. Usina nuclear

A usina nuclear produz energia elétrica através de reações nucleares de elementos radioativos. O elemento mais utilizado nas usinas é o urânio. Este material é colocado em barras dentro dos reatores da usina. O calor gerado pela reação move um alternador que produz a energia elétrica.

C.2. Usina eólica

A geração de energia elétrica ou mecânica através dos ventos se dá pela conversão da energia cinética de translação pela energia cinética de rotação através do emprego de turbinas eólicas.

C.3. Usina hidrelétrica

A usina hidrelétrica funciona através da pressão da água que gira uma turbina, transformando a energia potencial em energia mecânica. Após passar pela turbina, um gerador transforma a energia potencial em energia elétrica.

C.4. Usina termelétrica

A usina termelétrica produz energia a partir do calor gerado pela queima de combustíveis fósseis. A primeira etapa para a obtenção de energia consiste na queima de um combustível fóssil, como carvão, óleo ou gás, que transforma a água em vapor com o calor gerado na caldeira. A segunda etapa consiste na utilização deste vapor, em alta pressão, para girar a turbina, que por sua vez, aciona o gerador elétrico. Na terceira etapa, o vapor é condensado, transferindo o resíduo de sua energia térmica para um circuito independente de refrigeração, retornando a água à caldeira, completando o ciclo.

II. METODOLOGIA

O presente trabalho emprega a ACC para comparar diferentes formas de obtenção de energia elétrica por meio de diversas usinas utilizadas no Brasil, com a finalidade de encontrar a mais viável do ponto de vista técnico-econômico, social e ambiental.

Foram escolhidos quatro tipos de usinas: nuclear, eólica, hidrelétrica e termelétrica. Para comparar as usinas foi preciso pesquisar aspectos que as caracterizassem de maneira que os Elementos de Análise estivessem relacionados com os fatores técnico-econômico, ambiental e social.

Portanto, para o fator ambiental foram escolhidos os seguintes Elementos de Análise: degradação da fauna, poluição sonora, poluição atmosférica, poluição aquática, poluição do solo, facilidade de obtenção de licença e geração de resíduos sólidos.

Já para o fator técnico-econômico, os Elementos de Análise foram: custo de energia, produção anual, tempo de construção, custo com manutenção e tempo de retorno.

E, para o fator social foram definidos Elementos de Análise como: geração de empregos, localização do empreendimento, desenvolvimento da infra-estrutura local, efeitos de desequilíbrio ambiental no meio social e contribuição para a qualidade de vida.

III. RESULTADOS FINAIS

A ideia central da Avaliação de Custos Completos em relação aos recursos energéticos no Brasil é estudar a possibilidade de construção e instalação de usinas, além de analisar a melhor opção de investimento. Dessa forma, o presente trabalho define em ordem preferencial as melhores opções de aplicação de capital no perímetro brasileiro.

Para isso, foram construídas doze tabelas seguindo o modelo da Tabela I: quatro para cada fator (ambiental, social e técnico-econômico). E, destas quatro, uma tabela para cada gênero de usina (eólica, nuclear, hidrelétrica, termelétrica).

A título de exemplo, a seguir são apresentadas as tabelas arquitetadas para a usina hidrelétrica para o fator ambiental (Tabela II), fator técnico-econômico (Tabela III) e o fator social (Tabela IV).

TABELA II
USINA HIDRELÉTRICA - FATOR AMBIETAL

Fator Ambiental USINA HIDRELÉTRICA		Peso do Elemento de Análise						
	Elemento de Análise	Símbolo	XFC	Alternativa Insatisfatória (25%)	Alternativa Regular (50%)	Alternativa Satisfatória (75%)	Melhor Alternativa (100%)	Valeação Final atribuída à Usina Hidrelétrica
	Degradação na fauna	B		Afeta muito a fauna	Afeta a fauna	Afeta pouco a fauna	Não afeta	2,94
	Poluição Sonora	B		Emite muitos ruídos	Emite ruídos	Emite poucos ruídos	Não emite ruídos	5,88
	Poluição atmosférica	A		Emissão de SO ₂ e CO ₂ em áreas saturadas	Emissão de CO ₂ em áreas saturadas	Emissão de CO ₂ em pequenas quantidades em áreas saturadas	Não polui ou emite CO ₂ em áreas não saturadas	17,64
	Poluição aquática	A	17	Muito alta	Alta	Razável	Inexiste	4,41
	Facilidade de obtenção de licença	C		Muitos obstáculos	Obstáculos razoáveis	Poucos obstáculos	Sem obstáculos	1,47
	Geração de resíduos sólidos	A		Produz muitos resíduos	Produz quantidade razoável de resíduo	Produz pouco resíduo	Não geram resíduos	13,23
	Poluição do solo	A		Dejetos nocivos nos solos; alteração do terreno	Afeta a qualidade do solo	Afeta levemente a qualidade do solo	Não afeta a qualidade do solo	13,23

TABELA III
USINA HIDRELÉTRICA - FATOR TÉCNICO-ECONÔMICO.

Fator Técnico-Econômico USINA HIDRELÉTRICA		Peso do Elemento de Análise	Alternativa Inatisfatória (25%)	Alternativa Regular (50%)	Alternativa Satisfatória (75%)	Melhor Alternativa (100%)	Valorização Final atribuída à Usina Hidrelétrica
Elemento de Análise	Símbolo	KFC					
Custo energia US\$/MW	A		>50	40 a 50	30 a 40	<29	20,45
Produção anual MWh	B		> 12 milhões	7 a 12 milhões	2 a 7 milhões	< 2 milhões	4,54
Tempo de construção	C	11	>6	4 a 6 anos	2 a 4 anos	< 2 anos	4,54
Custo com manutenção	A		Muito alto	Alto	Médio	Baixo	27,27
Tempo de retorno	B		> 12 anos	8 a 12 anos	2 a 7 anos	< 2 anos	4,54
PONTUAÇÃO TOTAL DO FATOR TÉCNICO-ECONÔMICO PARA USINAS HIDRELÉTRICAS							61,34

TABELA IV
USINA HIDRELÉTRICA - FATOR SOCIAL.

Fator Social USINA HIDRELÉTRICA		Peso do Elemento de Análise	Alternativa Inatisfatória (25%)	Alternativa Regular (50%)	Alternativa Satisfatória (75%)	Melhor Alternativa (100%)	Valorização Final atribuída à Usina Hidrelétrica
Elemento de Análise	Símbolo	KFC					
Geração de empregos	A		Sem geração de empregos diretos ou indiretos	Baixa geração de empregos diretos ou indiretos	Média geração de empregos diretos e indiretos	Muito geração de empregos diretos e indiretos	8,33
Localização do empreendimento	A		Área central com grande densidade populacional	Área periférica com média densidade populacional	Área em locais afastados com pequena densidade populacional	Áreas industriais em locais afastados com pequena densidade populacional	18,75
Desenvolvimento da infra-estrutura local	B	12	Não afeta	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito	12,50
Efeitos do desequilíbrio ambiental no meio social (poluição atmosférica e sonora)	A		Emissão de SO ₂ e CO ₂ em áreas saturadas e descompliance da legislação sonora	Emissão de CO ₂ em áreas saturadas e cumprimento parcial da legislação sonora	Emissão de CO ₂ em pequenas áreas saturadas e cumprimento da legislação sonora	Não emite CO ₂ em áreas não saturadas e cumprimento da legislação sonora	25,00
Contribuição para qualidade de vida	C		—	Não há mutação significativa	Melhora razoavelmente a qualidade de vida	Melhora a qualidade de vida	4,16
PONTUAÇÃO TOTAL DO FATOR SOCIAL PARA USINAS HIDRELÉTRICAS							68,74

Seguindo o mesmo modelo foram construídas as tabelas para as usinas eólica, nuclear e termelétrica. As pontuações totais estão retratadas na Tabela V.

TABELA V
RESULTADO DA ANÁLISE FATOR/USINA.

	USINA NUCLEAR	USINA EÓLICA	USINA TERMELÉTRICA	USINA HIDRELÉTRICA
FATOR AMBIENTAL	72,03	77,91	61,74	58,80
FATOR TÉCNICO-ECONÔMICO	43,16	79,53	65,88	61,34
FATOR SOCIAL	79,16	72,91	58,32	68,74
SOMA	194,35	230,35	185,94	188,88

As pontuações mostradas na Tabela V indicam que, em relação ao fator ambiental, a melhor opção de investimento é a usina eólica, com a maior valoração de 77,91.

Para o fator técnico-econômico, a usina eólica também é a opção mais viável, devido sua pontuação de 79,53. Já em relação ao fator social, a usina que obteve a melhor avaliação foi a usina nuclear, com 79,16.

Portanto, ao resultado final, pode-se elaborar um *ranking* preliminar dos recursos energéticos obtidos no Brasil, 1^a opção: eólica, 2^a opção: nuclear, 3^a opção: hidrelétrica e 4^a opção: termelétrica.

IV. CONCLUSÕES

A simplicidade na manipulação com os cálculos efetuados por meio da ferramenta Microsoft Excel possibilita a aplicação da ACC em diversas áreas, levando-se em consideração os diversos fatores. O presente trabalho apresentou a análise realizada para os fatores ambiental, social e técnico-econômico, com alguns elementos de análise. Inicialmente, pesquisas foram realizadas no sentido de levar em conta também o fator político. Entretanto, essa ideia foi abandonada devido a grande dificuldade na obtenção dos dados relativos aos elementos de análise para esse fator.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Maio. “Energias renováveis”. 2006. Disponível em: <<http://www.minerva.uevora.pt/odimeteosol/energias.htm>>. Acesso em: 12 set 2011.
- [2] J. R. Boarati. “Um modelo para avaliação ponderada da hidreletricidade e termeletricidade com gás natural através dos custos completos”. Dissertação (Mestrado) – EDUSP, São Paulo. 2003.
- [3] D. Bachi Junior; G. L. Tiago Filho, M. R. R. Seydell. “Um modelo de análise do transporte de derivados de petróleo através dos custos completos”. *Anais do V Congresso Brasileiro de Energia*. Itajubá, 2013.
- [4] G. F. Burani, M. E. M. Udaeta, R. J. Fujii, L. C. R. Galvão. “O cenário dos recursos energéticos distribuídos no estado de São Paulo”. *Anais do 5º Encontro de energia no meio Rural e Geração Distribuída*, 2004.
- [5] E. C. Carvalho. “A Análise do ciclo de vida e os custos completos no planejamento energético”. Dissertação (Mestrado) – EDUSP, São Paulo, 228 p. 2000.
- [6] A. L. V. Gimenes, M. E. M. Udaeta, L. C. R. Galvão, L. B. Reis. “Modelo de Integração de recursos para um planejamento energético integrado e sustentável”. X Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2004.
- [7] I. Rutherford, I. “Use of Models to link Indicators of Sustainable Development”. In: B. Moldan; S. Bilharz (Eds.) *Sustainability Indicators: Report of the Project on indicators of Sustainable Development*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1997.

Explorando o Winplot e suas aplicações no ensino e aprendizagem do Cálculo I

Michely Campioni Vilela

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
michelycampioni@geb.inatel.br

Luiz Felipe Simões de Godoy

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
luizfelipe@inatel.br

Resumo — Esta pesquisa teve o objetivo de verificar se a utilização das ferramentas computacionais em uma interface com a Teoria dos Registros de Representação pode favorecer a aprendizagem dos conceitos sobre Limite de uma Função em um ponto. Para isso, foi desenvolvido e aplicado uma atividade de estudo dirigido, utilizando o software Winplot, em alunos da disciplina de Cálculo I. Após a aplicação das atividades foram coletados dados de uma prova teórica sobre Limites e, em seguida, foi feita uma análise e comparação entre os dados dos alunos que participaram da atividade e dos alunos que não participaram. Concluímos o trabalho com um questionário onde nossas observações foram reforçadas pelos depoimentos dos alunos.

Palavras chave — Ferramentas Computacionais; Estudo Dirigido, Ensino e Aprendizagem.

I. INTRODUÇÃO

A dificuldade de aprendizagem apresentada pelos alunos em sala de aula tem sido motivo de grandes preocupações para os profissionais da área de educação. Segundo [1], A matemática é uma das disciplinas que mais apresentam resistência, tanto no seu ensino, quanto na sua aprendizagem. As discussões sobre as possibilidades didáticas que possam facilitar a aprendizagem em Matemática perpassam por diferentes concepções e por novas metodologias de ensino, tais como: o uso de ferramentas tecnológicas, resolução de problemas, modelagem matemática, etnomatemática, dentre outras. Todas buscando, em seu objetivo final, melhorar a qualidade no processo de aprendizagem. A utilização das ferramentas computacionais pode agregar ao estudo da matemática maior mobilidade, e ainda, motivar os alunos, pois estes estarão manipulando objetos matemáticos através de um procedimento que já faz parte do seu dia a dia, a informática. De acordo com [2]: “O computador, como qualquer outro aparato tecnológico, é considerado como elemento integrador do homem ao seu meio sociocultural.” Procurou-se alinhar este trabalho com os conceitos abordados na Teoria dos Registros de Representação Semiótica que foi desenvolvida

por Raymond Duval¹ e que versa sobre a importância dos registros de representação para mobilizar os conhecimentos matemáticos. É fato que para estudarmos a matemática é necessário fazê-lo através de suas diversas representações, sejam: algébricas, figurais e numéricas. A conversão entre esses registros e o tratamento matemático, específico de cada representação, são possibilidades que permitem investigar a apreensão ou não dos conhecimentos adquiridos pelos estudantes. As conversões são definidas por [3] como “transformações de representações que consistem em mudar de um registro conservando os mesmos objetos denotados, por exemplo, passar da escrita algébrica de uma equação à sua representação gráfica.” Após a leitura de [4] procurou-se alinhar a confecção das atividades, mais especificamente, o estudo dirigido, na importância das conversões entre os registros algébricos e figurais (gráficos). Procurou-se seguir esta orientação para que o trabalho no laboratório não perdesse seu objetivo tornando-se mais uma atividade de construção gráfica sem significado.

II. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi preparar um estudo dirigido, utilizando-se como ferramenta computacional o software matemático – Winplot – para criar um cenário de aprendizagem em laboratório onde os próprios alunos pudessem se apropriar dos conhecimentos de Limite de uma Função.

III. CONFECÇÃO E APLICAÇÃO

Para este trabalho foi desenvolvido uma atividade de estudo dirigido (anexo I) utilizando o software matemático Winplot, no qual é possível construir, de forma precisa vários

¹ Raymond Duval é um filósofo e psicólogo francês, que tem suas pesquisas voltadas ao funcionamento cognitivo do aluno e o estudo dos registros de representação semiótica como fundamentais para a aprendizagem dos conceitos matemáticos. Dentre suas obras, destaca-se como mais importante *Semiosis et pensée humaine* (1995). Atualmente é professor emérito na Université du Littoral Cote d'Opale, França.

gráficos, promovendo alterações, comparações e conversões entre os diversos registros de representação da matemática. Utilizamos as ferramentas computacionais como técnica auxiliar de visualização e manipulação das conversões entre as representações matemáticas, favorecendo o tratamento dentro do registro gráfico. Neste processo construímos alguns protocolos para a construção e animação de gráficos de funções a partir dos recursos de animação do Winplot. O estudo sobre os limites é um dos conceitos que mais gera dificuldade entre os alunos, principalmente em analisar os limites laterais de uma função. Por esse motivo, desenvolvemos essa atividade sobre a determinação intuitiva do limite de uma função em um ponto, utilizando a interface gráfica e as animações que o Winplot possui.

Aplicamos os estudos dirigidos sobre Limites de uma função em um grupo de alunos que estavam cursando o 1º período de engenharia no Inatel. A atividade foi aplicada na mesma semana em que o professor de Cálculo iniciou o estudo de limites. Todos os alunos de uma turma de Cálculo I foram convidados a participar das atividades no laboratório, porém apenas 15 alunos, de um total de 35, se inscreveram para participar. Durante a aplicação do estudo dirigido os alunos aprenderam a manipular o software, criando dispositivos que permitissem a animação de pontos que se deslocassem sobre as curvas das funções. Isto permitiu que os alunos analisassem para qual valor a imagem da função estava tendendo quando um ponto do domínio aproximava-se de um determinado ponto. A atenção do aluno ao construir o gráfico e promover o deslocamento do ponto sobre a curva favoreceu a compreensão do conceito de limites laterais e promoveu sua aprendizagem. Todos os passos efetuados pelos alunos tanto de manipulação do software quanto de análise e leitura do comportamento dos gráficos estavam sendo registrados no estudo dirigido. Ao final os alunos puderam criar seus próprios gráficos e testar a variação dos valores da imagem ancorados aos valores do domínio.

Representação, promoveu com êxito a aprendizagem dos conceitos de limite de uma função em um ponto.

REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, José Luiz Magalhães de. ; LOPES, Dejahy Júnior. Registros de representação semiótica na compreensão de Função do 1º Grau por alunos da 1ª série do ensino médio. In: 28ª Reunião ANPED-Anual da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação. Caxambu-MG, 2005. Disponível em: http://www.ufrj.br/emanped/paginas/conteudo_producoes/docs_28/ressitros.pdf. Acesso em: 14/07/ 2013.
- [2] LAUDARES, João Bosco; LACHINI, Jonas. O uso do computador no ensino de Matemática na graduação - 23a Reunião Anual da Associação Nacional de Educação Matemática, 2000. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/reunioes/23/textos/1931t.PDF>> Acesso, 10/08/2013.
- [3] DUVAL, R. *Registre de représentation sémiotique et fonctionnement cognitif de la pensée*. Annales de didactique et de Science Cognitives. Strasbourg: IREM – ULP, 1993. v. 5, p. 37-65.
- [4] _____. Registros de Representações Semióticas e Funcionamento Cognitivo da Compreensão em Matemática. In. Aprendizagem em Matemática: Registros de Representação Semiótica. Org. Machado, Silvia D.A. PAPIRUS, 2003.

ANEXOS.

IV. CONCLUSÕES

Após as atividades em laboratório aguardamos os resultados das notas dos alunos na prova sobre limites. Levantamos com o professor da disciplina de Cálculo, dos alunos que participaram das atividades, alguns dados estatísticos relacionados às questões sobre análise gráfica dos limites. Obtemos o seguinte cenário: 33 alunos fizeram a prova, 15 destes alunos haviam participado do estudo dirigido. A média de acertos da questão gráfica sobre limites entre os alunos que não participaram desta pesquisa foi de 5,5 acertos. Por outro lado, a média de acertos dos alunos participantes desta pesquisa foi de 9,6 acertos. Além disso, aplicamos um pequeno questionário (Anexo II) nos alunos que participaram da atividade. Avaliando as respostas dos alunos e, de acordo com os dados obtidos pela prova, podemos inferir que a aplicação organizada e previamente planejada de ferramentas computacionais, alinhada à Teoria dos Registros de

Anexo I – Estudo Dirigido

Trabalho de Iniciação Científica - 2014 Estudo dirigido - Limites

Pesquisadora: Michely Campioni Vilela

Prof. Orientador: Luiz Felipe Simões de Godoy

Objetivos: Estudar os limites laterais de uma função e verificar se esse limite existe.

Promover um primeiro contato dos alunos com o *software Winplot*.

Nome: _____

Vale lembrar que: Limite de uma função é o valor L da ordenada (eixo y), para o qual a imagem está tendendo, à medida que os valores da abscissa (eixo x) tendem para x_0 . Em linguagem matemática temos: $\lim_{x \rightarrow x_0} f(x) = L$

Teorema da Unicidade do Limite:

O limite de uma função só existe se os limites laterais estiverem tendendo para o mesmo valor, isto é: $\lim_{x \rightarrow x_0^-} f(x) = \lim_{x \rightarrow x_0^+} f(x) = L$

1^a Questão

1º Abrir o programa *Winplot*- Janela- 2dim

2º Fazer a equação $y = \frac{2}{(x-2)}$ (equação explícita)

3º Fazer o gráfico da equação $x = 2$ (equação implícita)

Parte 1 - Observe apenas o gráfico que está à direita da assíntota, $x = 2$ e responda:

a) À medida que o ponto se desloca no sentido negativo de x, sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 2$ por valores maiores que 2, para qual valor está tendendo a imagem? _____

b) Quando ponto está exatamente sobre $x = 4$, qual o valor da imagem? _____

c) Para qual valor a imagem está tendendo quando x tende ao infinito positivo? _____

d) A imagem tente para o infinito quando os valores de x tendem para qual valor?

Parte 2 - Observe apenas o gráfico que está à esquerda da assíntota, $x = 2$ e responda:

- a) À medida que o ponto se desloca no sentido positivo de x , sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 2$, por valores menores que 2, para qual valor está tendendo a imagem? _____
- b) Qual o valor da imagem quando o ponto está exatamente sobre $x = 1$? _____
- c) Quando o valor da imagem for $y = -3$, qual será o valor do domínio da função? _____
- d) Qual o valor da imagem quando os valores de x tende ao infinito positivo? _____
- e) E se a imagem tender ao infinito, para qual valor está tendendo o x ? _____

Conclusão: Da análise feita nas partes 1 e 2, sobre o gráfico da função f , responda:

1. A função é definida em $x = 2$? _____ Justifique: _____
2. Agora, compare os resultados dos itens (a) das partes 1 e 2. O que você percebeu?

3. Pode-se concluir que o limite existe?
Justifique. _____

2^a Questão

Construa o gráfico da função $f(x) = \begin{cases} 2^x & \text{se } -3 \leq x \leq 2 \\ -x + 6 & \text{se } 2 \leq x \leq 8 \end{cases}$, vamos fazer

separadamente, como indicado a baixo.

Equação explícita: $y = 2^x$, trave o intervalo de $x = -3$ a $x = 2$

Equação explícita: $y = -x + 6$, trave o intervalo de $x = 2$ a $x = 8$

Faça um ponto (x, y) em $(6, 0)$ – marque círculo.

3º Inserir 2 pontos distintos sobre o gráfico da equação

4º Coloque grade.

Parte 1. Observe apenas o gráfico que está à direita de $x = 2$ e responda:

- a) À medida que o ponto se desloca no sentido negativo de x , sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 2$, por valores maiores que 2, para qual valor está tendendo a imagem? _____
- b) Para qual o valor a imagem está tendendo quando x tende ao infinito positivo? _____

Parte 2. Observe apenas o gráfico que está à esquerda de $x = 2$ e responda:

- a) À medida que o ponto se desloca no sentido positivo de x , sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 2$, por valores menores que 2, para qual valor está tendendo a imagem? _____
- b) Para qual o valor a imagem está tendendo quando x tende ao infinito negativo? _____

Conclusão: Da análise feita nas partes 1 e 2, sobre o gráfico da função f , responda:

- a) Esta função é definida para $x = 2$? _____ Justifique: _____

- b) Existe o limite desta função quando $x \rightarrow 2$? _____ Justifique: _____

Agora analisando outro ponto da mesma função, ponto $x = 6$.

Parte 1. Observe apenas o gráfico que está à direita de $x = 6$ e responda:

- a) À medida que o ponto se desloca no sentido negativo de x , sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 6$, por valores maiores que 6, para qual valor está tendendo a imagem? _____

Parte 2. Observe apenas o gráfico que está à esquerda de $x = 6$ e responda:

- a) À medida que o ponto se desloca no sentido positivo de x , sua projeção no eixo das abscissas se aproxima de $x = 6$, por valores menores que 6, para qual valor está tendendo a imagem? _____
- b) Quando o ponto estiver em $x = 6$, qual o valor da imagem desta função? _____

Conclusão: Da análise feita nas partes 1 e 2, sobre o gráfico da função f , responda:

- a) Esta função é definida para $x = 6$? _____ Justifique: _____

- b) Existe o limite desta função quando $x \rightarrow 6$? _____ Justifique: _____

Obrigado pela participação.

Anexo II - Questionário

Por gentileza, responda as questões a seguir, sua disponibilidade será de grande valia para o trabalho de Iniciação Científica.

1. A atividade apresentada no laboratório de informática foi bem conduzida?
 Sim
 Não
2. A utilização da ferramenta computacional (Winplot) permitiu que você compreendesse melhor os conceitos de limites de uma função?
 Sim
 Não
 Um pouco
3. Quando você participou desta atividade já tinha conhecimento sobre o conceito de limites de uma função?
 Sim completamente
 Sim razoavelmente
 Sim, mas com muitas dúvidas
 Não
4. Em sua opinião, se o estudo dos limites de uma função fosse introduzido utilizando o estudo dirigido no laboratório de informática seria mais fácil de compreender?
 Sim
 Não
5. Se você tivesse que avaliar, de 1 a 10, **o quanto o estudo dirigido esclareceu o conceito de limites**, qual nota você daria?

Muito obrigado pela sua cooperação.

Desenvolvimento de um software para aplicação em Sinais e Sistemas, utilizando o GeoGebra

Giovani José Cassiano

Rodrigo Guaracy Santana

Maurício Aparecido da Silva

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
gjcassiano@gec.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
guaracy@inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
mauriciosilva@get.inatel.br

Resumo—Este documento contém informações de uma aplicação desenvolvida para a disciplina de Sinais e Sistemas do Inatel, utilizando um software de geometria dinâmica, chamado GeoGebra, que é escrito em linguagem Java. Será feita uma breve descrição do que é o GeoGebra, para que ele serve e como pode ser adquirido. Esse software poderá ser de grande importância para o entendimento da disciplina, pois permitirá uma visualização mais clara e simples das operações realizadas em suas variáveis dependente e independente, pela utilização de gráficos. [3]

Palavras chave— Sinais e Sistemas, GeoGebra, software aplicativo, representação gráfica.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço do desenvolvimento tecnológico fica evidente a necessidade de encontrar novas ferramentas para auxiliar alunos e professores no dia a dia. Uma das principais formas de facilitar o entendimento do aluno é a maneira de ensinar o conteúdo educacional. A disciplina de Sinais e Sistemas tem um papel importante nos cursos de graduação do Inatel, pois ela apresenta ao aluno as mais variadas operações com sinais (funções) e com sistemas. Essa disciplina tem o objetivo de associar os conceitos matemáticos com os fenômenos da natureza para um entendimento e análise do comportamento de sinais e sistemas, principalmente os lineares e invariantes no tempo. Unindo a necessidade de uma plataforma de ensino com mais clareza, com uma disciplina importante na vida de um engenheiro ou tecnólogo, desenvolvemos um software para a aplicação de Sinais e Sistemas, utilizando o GeoGebra. Esse software está disponível em vários sites da Internet.

II. GEOGEBRA

A. Definição, Características e História

O GeoGebra é software que permite realizar construções geométricas com a utilização de pontos, retas, segmentos de reta, polígonos etc., assim como permite inserir funções e alterar todos esses objetos dinamicamente, após a construção

estar finalizada. Equações e coordenadas também podem ser diretamente inseridas. Portanto, o GeoGebra é capaz de lidar com variáveis para números, pontos, vetores, derivar e integrar funções, e ainda oferecer comandos para se encontrar raízes e pontos extremos de uma função. Como o programa reúne as ferramentas tradicionais de geometria com outras mais adequadas à álgebra e ao cálculo ele tem a vantagem didática de representar, ao mesmo tempo e em um único ambiente visual, as características geométricas e algébricas de um mesmo objeto. [5]. Ele foi desenvolvido por Markus Hohenwarter para ser utilizado com alunos em sala de aula. No momento o projeto tem prosseguido em desenvolvimento na Florida Atlantic University, mas iniciou-se por volta de 2001, na Universität Salzburg. Sua distribuição é livre e ele pode ser utilizá-lo, nos termos da GNU General Public License. [7]. Ele é escrito em linguagem Java.



GeoGebra

Software Dinâmico de Matemáticas

Fig. 1. Logomarca do software GeoGebra [1]

III. DESENVOLVIMENTO

A. Linguagem

A linguagem de programação usada para a configuração e utilização do GeoGebra foi a javascript, e para implementar o aplicativo ao site foi utilizada a linguagem de marcação HTML que produz páginas na Web. Para dar um visual e estilo ao site, foi utilizado o CSS, que defina a aparência em páginas da internet que adotam a linguagem de marcação HTML.

B. Página Inicial

Para garantir um acesso rápido e mais específico, foi desenvolvida na página inicial uma introdução ao programa e um menu, onde são oferecidas várias opções distintas, dependendo da necessidade e do nível de aprendizagem de cada aluno.

Olá, bem-vindo ao aplicativo.
Com base na plataforma Geogebra.

Podemos compreender e visualizar operações com sinais.
Selecione a opção desejada:

- 1 - Aprendendo a fazer funções com intervalos**
- 2 - Exemplos de funções**
- 3 - Entre com a função**
- 4 - Funções pares e ímpares**
- 5 - Operações na variável dependente**
- 6 - Operações na Variável independente**

Fig. 2. Página inicial do site

C. Variáveis dependentes e independentes

Um aluno que esteja com dificuldades em realizar operações na variável dependente ou na variável independente de uma função, poderá escolher dentre as duas opções finais do menu, visualizando os gráficos e podendo interagir com o mesmo. Na figura 3 podemos observar o gráfico e as manipulações que podem ser feitas.



Fig. 3. Operações na variável dependente

D. Exemplos de funções

Uma das principais maneiras de aprender uma disciplina é por meio de exemplos, mas no aplicativo desenvolvido isso vai além. Muitas vezes, apenas visualizar o que se está aprendendo não é a solução para o entendimento por completo. Deste modo, para auxiliar o aluno, foi feita a possibilidade de uma interação, onde ele pode escolher os exemplos que deseja visualizar e compará-los em diferentes abas. O mais interessante é que por meio do mouse do teclado, pode-se clicar no gráfico e movimentar a função em diferentes sentidos. Abaixo do gráfico é possível visualizar a forma analítica da função e as mudanças feitas de acordo com a movimentação do gráfico. Todos esses exemplos podem ser identificados na figura 4.

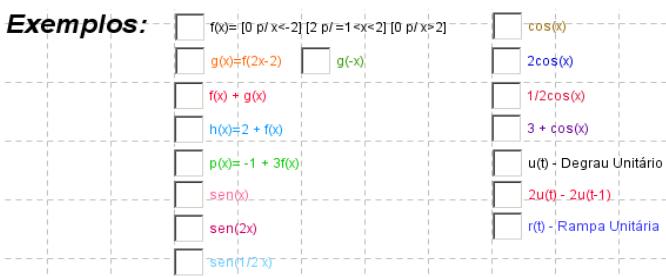
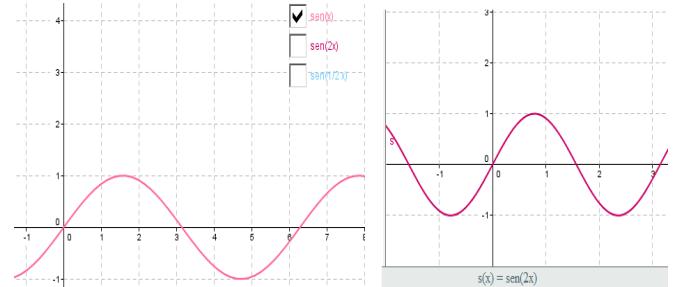


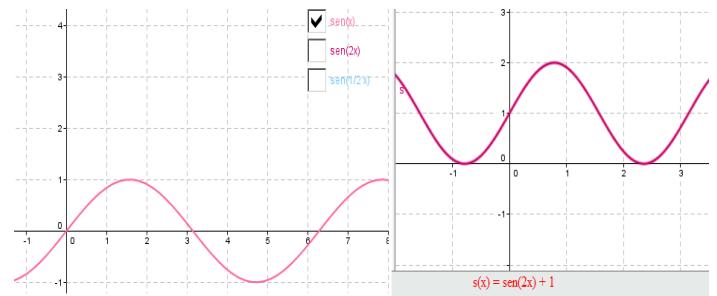
Fig. 4. Exemplos de funções

Escolhendo duas funções, pode-se agora comparar e fazer

uma análise mais detalhada como está mostrado na figura 5.

Fig. 5. Comparação entre $\operatorname{sen}(x)$ e $\operatorname{sen}(2x)$

Como um modo de interação ainda maior, podemos mover o gráfico pela utilização do mouse ou pelas teclas de direção, e observar as mudanças ocorridas na forma analítica da função logo abaixo do gráfico. Na figura 6 podemos identificar essas mudanças com uma maior clareza.

Fig. 6. Comparação com mudanças entre $\operatorname{sen}(x)$ e $\operatorname{sen}(2x) + 1$

IV. CONCLUSÕES

A experiência com os aplicativos matemáticos reforça um modelo que cada vez mais terá de fazer parte da metodologia do professor. Os alunos, por sua vez, possuem grandes habilidades com essas ferramentas. Conclui-se que a utilização do software desenvolvido, utilizando o GeoGebra é vantajosa como proposta metodológica para a disciplina de Sinais e Sistemas.[6]

A proposta inicial do projeto era realizar o desenvolvimento de um software de aplicação para utilização em sala de aula e para estudos particulares, onde o aluno pudesse interagir e compreender com mais facilidade o comportamento das operações com funções.

Há a possibilidade de uma continuidade desse trabalho poder ser continuado, com o propósito de se fazer um aplicativo para a realização de convolução entre funções contínuas.

REFERÊNCIAS

- [1] N. A. Eimard, "Avaliação do uso do software geogebra no ensino de geometria: Reflexão da prática na escola (anais de congresso)," *Actas de La Conferencia Latinoamericana de Geogebra*, Uruguai, 2012, pp. 125-132.
- [2] S. A. Keytt, "O uso do Geogebra em alguns resultados da geometria (anais de congresso)," *Actas de La Conferencia Latinoamericana de Geogebra*, Uruguai, 2012, pp. 180-192.
- [3] F. C. Roberto, "Ensinoando matemática com o Geogebra (artigo não publicado)," unpublished.

- [4] Encyclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol. 6, N.10, 2010.
- [5] Site da Internet: Universidade Estadual Paulista. Softwares matemáticos, visitado em 02/2015. www.ibilce.unesp.br/#!departamentos/matematica/extensao/lab-mat/softwares-matematicos/
- [6] T. M. Aldo, C. A. C. Fernanda, “Uso do software Geogebra como recurso metodológico no ensino de matemática (artigo de anais),” *VIII E P A E M Encontro Paraense de Educação Matemática*, Belém (PA), 2011, pp. 1-7.
- [7] Site da Internet: Wikipédia. GeoGebra, visitado em 02/2015. <http://pt.wikipedia.org/wiki/GeoGebra>

Estudo e Desenvolvimento de um Sítio Virtual para Auxílio do Estudo de Física

Karina Perez Mokarzel

Felipe Chaves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
karina@inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
felipe.chaves@inatel.br

Kennedy Diego Ribeiro

Thamer Kersul Brito

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
kennedy@gee.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thamer@gee.inatel.br

Resumo— Em um primeiro trabalho, foi apresentado o desenvolvimento de um sítio virtual para auxiliar os alunos em seus estudos da disciplina de física. Em um segundo momento foi aplicado o projeto como forma de validação da ferramenta e aceitação dos alunos e foi realizado uma mudança no mecanismo de exercícios do site virtual.

Palavras-chave— Física, Ensino-Aprendizagem, Site, Sítio Virtual, Jogos de Física.

I. INTRODUÇÃO

A introdução das tecnologias no processo de aprendizagem vem mudando o modelo de ensino-aprendizagem dos jovens atualmente. Com o propósito de criar algo novo para o aprendizado, foi iniciado o projeto do desenvolvimento do site. De forma mais dinâmica o aluno poderá ter atividades da disciplina diretamente pelo portal. Exercícios vídeos-aulas exemplos e apoio bibliográfico.

Conforme já comentado no primeiro artigo do projeto [1], celulares, tablets e computadores vem ganhando lugares nas mesas de estudos. Toda essa nova ideia de estudos servem para despertar maior interesse dos alunos. Sendo assim continuamos com o projeto aplicando melhorias e algumas mudanças na estrutura do sítio virtual, permitindo uma interação mais fiel ao aluno e mais fácil gerência por partes do professor tanto no cadastro quanto na visualização de seus alunos cadastrados. A introdução do computador como recurso didático surge com o processo do aluno ter capacidade para complementar seu material didático e ainda aproveitar de um meio diferente do que sempre foi aplicado. Aumentando assim, seu poder de comunicação com os professores além do fato do professor ter a oportunidade de propor diferentes

atividades com aulas expositivas para motivar o estudo, abrir um tema, descrever experiências, ou para colaborar numa síntese do estudo feito sobre um assunto proposta.

II. CONTINUAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO

É evidente que o uso do site revela um elemento de apoio à construção do conhecimento e não roubará a cena de uma sala de aula comandada por um professor de maneira alguma. Portanto inovar, criar e experimentar são desafios importantes na vida profissional que tanto serviram aos docentes quanto aos discentes. Além de que, estamos tratando de uma fonte segura de pesquisa.

A. Atualizações

Para a segunda versão do site foram realizadas mudanças na programação do mesmo, alterando a forma de sorteio dos exercícios, de uma forma mais dinâmica onde os exercícios estão separados em três níveis fáceis, meios e difíceis, com esse novo modelo de mecanismo os alunos rebem exercícios sorteados pelo grau de dificuldade deixando a competição mais elaborada. Com o mecanismo anterior tínhamos várias versões do mesmo exercício porém com uma rotina de resolução igual, ou seja, um aluno que havia desenvolvido, por exemplo, o exercício cinco poderia passar a resolução do mesmo para outro aluno que assim iria conseguir resolve-lo seguindo os passos do modelo já resolvido.

Com os novos modelos os exercícios são classificados pelo professor quanto ao nível. Assim não existindo exercícios similares.

Esse ponto foi alvo de muitas discussões para se definir como seria o novo mecanismo do site.

Foi criada uma lógica de inicio e fim das competições, o professor poderá classificar os exercícios de acordo com as

matérias, podendo selecioná-las da maneira como desejar e iniciar a competição. Assim durante o semestre ele poderá criar diversas competições independentes.

B. As páginas

As páginas da segunda versão do sitio virtual não sofreram alterações em relação ao ambiente do usuário, as alterações foram realizadas somente no sistema de sorteio de exercícios.

As descrições do site podem ser encontradas no primeiro artigo do projeto [1].

Ranking	Nome	Pontos
1	Gabriel	65
2	Monica	57
3	Bruno	49
4	Miguel	43
5	Arthur	42
6	Breno	38
7	Pedro Henr	38
8	Luzia	32
9	Ana Clara	27
10	Eduardo	21

Figura 01: Página inicial com ranking.

III. BENEFÍCIOS

Com o intuito de melhorar sempre seus ensinamentos, os professores tentam inserir em seus alunos um modelo de espírito pesquisador, permitindo que o aluno não esteja consignando em adquirir sua bagagem de conhecimentos apenas em sala de aula. Teremos assim uma vantagem ao aplicar o site, pois se refere a uma ferramenta on-line, prática e inovadora. É possível que o aluno ao realizar os exercícios se depare com as dificuldades, mas terá em mãos ajuda e orientação suficiente para lidar com as mesmas. O professor pode observar seus alunos mais interessados e também verificar a partir dos exercícios resolvidos quais foram os assuntos mais dominados e os menos, podendo assim aprimorar sua ementa de aula. É possível aproveitar desta tecnologia de várias formas, por exemplo: se um professor optar por gerar uma competição para gratificar seus melhores alunos ou apenas divulgar como uma forma alternativa de estudo são algumas das opções possíveis, além de permitir que o professor faça atualizações e possa acrescentar conteúdos Just in time.

REFERÊNCIAS

- [1] Ribeiro, K.; Brito, T. "Estudo e desenvolvimento de um sítio virtual para auxílio no estudo de física." Anais do Congresso de iniciação Científica do Inatel - Incitel, 5-7 Maio 2014, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Publicado por Carlos Alberto Ynoguti. - Santa Rita do Sapucaí: INATEL, 2014.
- [2] Ribeiro, K.; Brito, T. "Estudo e desenvolvimento de um sítio virtual para auxílio no estudo de física." Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge-2014/Artigos/129219.pdf>> Acesso em 03 fevereiro 2015.

Aplicações na Engenharia do Estudo de Integrais Desenvolvido no Cálculo Diferencial e Integral

Tamony Cristiane Silva

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
tamonys@get.inatel.br

Jéssica Borges Dias

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
jessicaborges@get.inatel.br

Paulo Cesar Xavier Duarte

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
pcduarte@inatel.br

Eduardo Ferreira Silva

Instituto Nacional de Telecomunicações -
Inateleduardofs@gea.inatel.br

Resumo – Este projeto visa destacar, o surgimento, o estudo e as aplicações da integral - através de um jogo, na engenharia.

Palavras chave – Integral, engenharia, cálculo, aplicações.

I. INTRODUÇÃO

A integração é uma forma de reverter a derivação e com ela temos o artifício para recuperar a função original a partir de sua derivada. Já outra característica da integral é que o seu valor numérico em certo intervalo, corresponde ao valor da área da figura delimitada pela curva da função e o eixo x (abscissas). [1]

Sendo assim, após essas considerações iniciais, apontamos que o objetivo deste projeto é facilitar o estudo das integrais por meio de exemplos e jogos educativos.

II. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE INTEGRAL

Com o advento do “Teorema Fundamental do Cálculo” estabeleceu-se uma conexão entre os dois ramos do cálculo: o Cálculo Diferencial e o Cálculo Integral. O Cálculo Diferencial surgiu do problema da tangente, enquanto o Cálculo Integral surgiu de um problema não relacionado com o cálculo de áreas. O professor de Isaac Newton em Cambridge, Isaac Barrow, descobriu que esses dois problemas estão de fato estreitamente relacionados ao perceber que a derivação e a integração são processos inversos. Entretanto, foram Leibniz e Newton que exploraram essa relação e a utilizaram para transformar o Cálculo em um método matemático sistemático.

Particularmente, ambos viram que o Teorema Fundamental os capacitou a calcular áreas e integrais muito mais facilmente, sem necessidade de calculá-las como limite de uma soma. [2]

III. DESENVOLVIMENTO

Isso posto, podemos destacar que o estudo de integrais é fundamental em matemática, pois a integrais simples, as duplas ou triplas, podem ser utilizadas como eficientes ferramentas de modelagem em diversas situações-problema, sobretudo aquelas que envolvem o cálculo de área ou volume de uma determinada região. Para encontrar o valor de uma área usa-se a integral definida da função $f(x)$ entre os limites “a” e “b”. Já a integral dupla calcula, através de duas variáveis o volume de uma região plana, utilizando-se um processo semelhante ao de integrais simples. E a integral tripla envolve uma função $f(x,y,z)$ e um sólido S do espaço tridimensional. Para resolvê-la é necessário varrer completamente o interior do sólido na ordem mais adequada e identificada pela posição dos diferenciais na integral. Também podemos destacar que a integral pode ser usada no cálculo do trabalho realizado por um objeto sob a ação de uma força variável. [3]

Devido a aplicações como estas, elaborarmos um jogo educativo envolvendo o cálculo de integrais e o aplicamos para uma turma de Calculo I, do INATEL, no dia 11 de dezembro de 2014. O jogo desenvolvido pelo grupo, tinha como objetivo resolver integrais simples e duplas, de acordo com o problema proposto. Após a aplicação do jogo, os alunos participantes deste projeto realizaram uma avaliação, com conteúdos de integração e obtiveram o seguinte resultado: dos 17 alunos participantes, 60% do total obtiveram teve êxito na prova e foram aprovado, os outros 40% acabaram reprovados.

IV. CONCLUSÕES

O estudo da integral é um dos assunto mais importante da matemática e após a formulação do “Teorema Fundamental do Cálculo” foi possível descrever e resolver com maior facilidade fenômenos antes não tão bem especificados, como a

resolução de problemas da Física onde envolvem relações, entre velocidade, espaço, força e trabalho, entre outras..

Conhecendo melhor as integrais e as suas aplicações, podemos trazer maior entendimento e desenvolvimento na solução de problemas que a engenharia traz.

Com relação ao resultado obtido por este projeto, podemos afirmar que o mesmo auxiliou mais da metade dos alunos participantes a serem aprovados na disciplina de Cálculo I do INATEL.

V. REFERÊNCIAS

- [1] [1]Disponível em:[http://pt.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo_\(Volume_1\)/Integrais](http://pt.wikibooks.org/wiki/C%C3%A1lculo_(Volume_1)/Integrais)> Acessado em: 25/08/2013
- [2] [2] Disponível em:< <http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1lculo>> Acessado em: 25/08/2013
- [3] [3] COURANT, R. Cálculo Diferencial e Integral-1. Porto Alegre: Globo S.A., 1965
- [4] [4] LARSON, Roland E; HOSTETLER, Robert P; EDWARDS, Bruce H. Cálculo com geometria analítica. Rio de Janeiro: LTC, 1998

O uso de mineração de dados na segurança da informação de um sistema acadêmico: um modelo para detectar fraudes em documentos digitais

Rodolfo da Silva Pache de Faria

Universidade Presbiteriana Mackenzie
Faculdade de Computação e Informática
rodolfo@pache.com.br

Leandro Augusto da Silva

Universidade Presbiteriana Mackenzie
Faculdade de Computação e Informática
prof.leandro.augusto@mackenzie.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma proposta de modelo para detectar fraudes em documentos digitais acadêmicos. Os dados constituem de documentos entregues em formato digital para contabilização de horas de Atividades Complementares (AC) de uma Instituição de Ensino Superior e, portanto, discutimos uma série de indagações a respeito do comportamento humano e buscamos soluções na tecnologia para frear o ímpeto dos usuários frente as facilidades encontradas de infringir regras através de limitações encontradas em um sistema de Gerenciamento de AC. O objetivo deste trabalho é constituído da extração de informações de documentos digitais, analisando seu conteúdo com o objetivo de classificá-lo como original ou fraude. Para isso, fez-se o uso de técnicas de mineração de dados, com a implementação do algoritmo *k* vizinhos mais próximos ou *kNN* (do inglês, *k Nearest Neighbor*) para classificar a veracidade dos documentos, expondo os resultados a partir da taxa de acerto. Taxa essa que apontou acurácia de 93,9%.

Palavras-chave—Fraude em Documentos Digitais, Mineração de Dados, Segurança de Informação, Documentos digitais.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização de documentos e o armazenamento, dos mesmos, é uma tendência irreversível que corriqueiramente é justificada quando relaciona e analisa-se a redução no preço do byte. O armazenamento de um documento no formato digital permite, entre outras coisas, o aumento na disponibilidade e na durabilidade do mesmo.

No entanto, a quantidade de documentos digitais gerada diariamente tem ultrapassado a capacidade para que possa ser feito um controle manual no aspecto de autenticidade. Isto posto, tem-se um problema quando este tipo de documento digitalizado é usado como um comprovante.

Como exemplo desta necessidade de gerenciar uma grande quantidade de documentos utilizados como comprovante, as Instituições de Ensino Superior (IES) necessitam controlar as Atividades Complementares (AC) de seus alunos. Silva e

Vallim-Filho (2011) apresentaram uma proposta de criação de um sistema para Gerenciamento de Atividades Complementares, ou como chamaremos a seguir neste trabalho, ‘GAC’, o qual está em uso por diversas unidades de ensino dentro da universidade onde a IES está inserida.

Um sistema GAC além de possibilitar a validação das horas de forma eletrônica, o que facilita o processo para o aluno e o Coordenador, permite também monitorar os hábitos, prioridades, necessidades que os alunos veem buscando complementar e que não fazem parte da carga horária regular do seu curso. Adicionalmente, os dados destas atividades padronizados em uma base de dados permitem: análise estatística, acompanhamento continuado e até mesmo controle de evasão.

No entanto, como a comprovação é feita por um documento eletrônico, esse tipo de sistema, como o GAC, deve ser robusto para identificar fraudes como propriedade de documentos ou sua unicidade. Isto é, devemos garantir que o documento que comprova uma atividade está sendo armazenado pela primeira vez e deixado pelo próprio autor.

Este é um problema típico de segurança de informação em dados de um sistema acadêmico que pode ser resolvido por classificação de dados. A classificação é uma tarefa da mineração de dados que consiste no mapeamento de um objeto desconhecido em uma classe predefinida.

Portanto, o objetivo deste trabalho é atuar nos documentos acadêmicos deixados no sistema GAC proposto por Silva e Vallim-Filho (2011) e em uso por uma IES, para classificá-los em originais ou fraudes. O processo de classificação é feito com uso da Mineração de Dados, mais especificamente com o algoritmo de classificação conhecido como *k* vizinhos mais próximos ou *kNN* (do inglês, *k Nearest Neighbor*).

Este trabalho está organizado em: revisão bibliográfica onde apresentamos os principais elementos envolvidos neste estudo como Atividades Complementares, Fraudes em documentos

digitais e Mineração de Dados. Por conseguinte, nessa sequência, apresentamos a metodologia, os resultados e a conclusão.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Atividades Complementares

Além dos requisitos comuns em cursos superiores para colar grau, como uma etapa para cumprimento de carga horária e estágio, algumas Instituições de Ensino Superior definem como um requisito adicional as Atividades Complementares (AC). Isto é uma recomendação do Ministério da Educação, o qual determina que o número de horas deva ser inferior a 20% a carga horária total do curso. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2007)

As AC constituem-se de modalidades extra classe que são distribuídas na tríade ensino, pesquisa e extensão.

Na instituição de ensino superior (IES) onde este trabalho esta inserido, os comprovantes de atividades complementares são entregues em formato digital. E isto facilita o processo de tentativa de fraude. Na seção seguinte abordaremos este assunto não apenas no aspecto da identificação da fraude como uma punição ao aluno, mas também nos aspectos humanos que procuram entender a razão de porque o comportamento de fraude acontece.

B. Fraude em Documentos Digitais

Atualmente o mundo que vivemos é repleto de desonestidade em diversos campos, e em alguns casos com certa aceitação. Essa é uma constatação ao observarmos o nível de confiança nos setores públicos aferido pelo *Transparency International*, órgão que avalia o índice de corrupção perceptivo (CPI) para servidores públicos, onde o Brasil em 2013 ocupou a 72º posição empatado com São Tome e Príncipe e atrás de países como Namíbia e Omã. (SANTOS, 2011)

Apesar desta colocação não ser uma grande surpresa, o que deveria servir como ponto de reflexão é a desonestidade das pessoas, como discutido por Santos (2011) em sua tese – *A desonestidade de pessoas honestas: um experimento no Brasil* – onde dentre os dados apresentados, apontou o prejuízo superior a casa dos R\$ 2 bilhões que o Brasil teve com a pirataria em 2009, bem como a afirmação de que jovens de 16 a 24 anos acreditam que os atos ilícitos por eles cometidos eram mais aceitáveis do que aqueles que não cometaram, o que se trata de um grande equívoco, exemplificando uma deturpação de conceitos éticos e morais. (SANTOS, 2011)

O comportamento anônimo da sociedade abre precedentes para o surgimento de atos fraudulentos, algo que pode-se atestar pela Teoria da Pressão (MERTON apud COSTA e WOOD, 2012) onde diante dessa situação, em que os padrões de conduta são ignorados juntamente das leis e regras, a combinação do anseio pelo sucesso e projeção social juntamente da disponibilidade para cometer atos fraudulentos são fatores preponderantes quando mantem-se o foco no alcance de seus objetivos.

A pressão, tanto no ambiente familiar quanto profissional aumenta a carga emocional sobre os indivíduos no tocante a seus resultados. Portanto essa pressão por desempenho torna-se um fator determinante em uma tomada de decisão positiva quanto a um ato fraudulento.

Um outro aspecto a ser levado em consideração é o tratado por Lange que sugere que o autocontrole ajuda a diminuir (ou eliminar) os casos de fraude, quando a organização possui políticas e valores bem definidos. (LANGE apud COSTA e WOOD, 2012).

Os referidos autores colocam para a organização um papel importante de desestimular essas práticas, isto é, se casos de fraude são cada vez mais recorrentes as políticas para coibir esses atos apresentam-se ineficazes. Avisos ou recomendações não bastam para conscientizar jovens graduandos, da importância que tem esses documentos para sua formação, bem como as consequências que suas escolhas podem ter.

Os adventos da tecnologia fomentam e munem mentes criativas dispostas a utilizar suas habilidades para criação de documentos fraudulentos, de modo que as ferramentas disponíveis atualmente simplificam e muito tal processo, por mais que essas não tenham sido desenvolvidas para este determinado fim, sua abrangência de recursos acaba tornando acessível e viável para usuários com os mais diversos níveis de conhecimento.

Ainda neste mesmo contexto, explicando de maneira um pouco mais técnica, os processadores de texto funcionam como ferramentas de geração de conteúdo inverossímil, uma vez que pode-se através de um OCR – Reconhecimento Ótico de Caracteres, reconhecer o texto presente em uma imagem e através deste recurso (que reconhece os caracteres da imagem gerando como saída um arquivo textual) alterar seu conteúdo; Da mesma forma que a edição de um arquivo textual simples, aberto em qualquer editor de texto tem o mesmo efeito final, que é a manipulação fraudulenta do arquivo.

A grande questão é que, quando realizada por profissionais, as fraudes tornam-se difíceis de serem identificadas mesmo que se tenham métodos computacionais robustos para verificação.

Justamente por isso, com a ausência de ferramentas para verificação, a fraude em documentos digitais, bem como em outros segmentos da área, não evolui como poderia por conta do risco que a propagação de uma metodologia fundamentada serviria como fonte para aqueles que desejam cometer fraudes, tendo em vista que, ao mesmo tempo, ajudaria aprimorar as ferramentas e técnicas voltadas a detecção de fraude essa propagação auxiliaria na criação de meios para burlá-las. (KOVAC, 2011)

Portanto cabe não só inibir a fraude, mas conscientizar os praticantes destes atos ilícitos da severidade e consequências do ato como uma maneira profilática e também como desestimulador dessas ações, expondo quais serão as medidas tomadas caso esses atos porventura continuem se repetindo, e que estas serão impreterivelmente aplicadas independendo da situação.

Quando pensamos na necessidade de se tratar de uma grande quantidade de dados, que nos auxiliariam neste processo de detecção de fraudes, podemos utilizar as ferramentas e técnicas da Mineração de Dados (MD). Esta constitui-se por tarefas que agem em uma quantidade volumosa de dados com o propósito de encontrar padrões que sejam de grande valia no contexto a qual está inserida, servindo como base para uma tomada de decisão (SILVA, L.A. e SILVA, L., 2014)

A seguir discutiremos com mais detalhes a Mineração de dados.

C. Mineração de Dados

Como fora supracitada, uma tarefa em MD é responsável por obter certo tipo de conhecimento de uma base de dados, a qual será realizada partindo da escolha de uma tarefa e um algoritmo para a realização, consequentemente. O resultado obtido dependerá da tarefa que será utilizada. Essas podem ser divididas em:

- Classificação – Conhecido também por Modelo Preditivo, esta tarefa tem a função de prever o conhecimento que se deseja alcançar. Para isso utiliza-se uma base de treinamento e outra de teste, o que permite no final encontrar situações que não constavam na base de dados.
- Agrupamento – É responsável por descobrir um perfil, através da busca por padrões e atributos que apontem similaridades em uma base de dados.
- Associação de dados – Realizada a partir dos atributos regulares (itens), os quais possibilitam a criação de uma regra de associação. Essa regra de associação representa um conhecimento que mostra itens que ocorrem associadamente. (SILVA, L.A. e SILVA, L., 2014)

Isto posto, a MD é de vital importância diante deste contexto, já que semestralmente centenas de arquivos entram nas bases de dados de sistemas como o GAC, aumentando significativamente o volume dos dados que devem ser analisados e consequentemente as possibilidades de fraude aumentam do mesmo modo.

Para se garantir a originalidade de um documento deixado para avaliação, este deve atender a alguns requisitos como: integridade e autenticidade. Uma das formas de se tentar garantir a autenticidade e a integridade de documentos eletrônicos, hoje em dia, é através da utilização de assinaturas digitais. Geralmente, estas consistem basicamente de uma sequência de código, resultado de uma escrita enigmática, cifragem, resumo criptográfico (do conteúdo) com a chave privada do assinante (que é um dos indicadores de propriedade do arquivo), pode-se, por exemplo, utilizar o algoritmo MD5, *Message-Digest algorithm 5*, para essa finalidade. (COSTA, CUSTODIO e ROLT, 2003)

Isso só é possível porque quando é enviado o arquivo, o algoritmo faz a varredura do mesmo, lendo-o como um arquivo de texto, ou seja, é analisado o conteúdo do documento para que se crie a assinatura digital.

O algoritmo MD5 é unidirecional, que por esse motivo não pode ser revertido, e de modo reduzido pode-se explicar seu funcionamento da seguinte maneira: Ele recebe uma entrada, por exemplo, um documento, e produz uma saída de 128 bits, que representa o documento de uma forma que funcione como indicador único. Com o conteúdo dessa mensagem ele faz uma divisão em quatro estágios, sendo no final gerado um *hash* de 128bits. (OLIVEIRA e KASTENSMIDT, 2007) Desta forma, contextualizando, esse identificador único gerado pelo algoritmo em sua saída é o que reconhece por assinatura digital.

O algoritmo kNN, ou K vizinhos mais próximos é muito importante neste contexto. Conforme citado por autores (CARVALHO, T.B.A et al., 2007; CHAGAS, F., 2010), o algoritmo kNN é de fácil implementação, simples entendimento e amplamente utilizado no reconhecimento de padrões. Pensando em um simples teste com um documento qualquer x , eis, de modo simplificado, seu funcionamento:

- I. Utilizam-se medidas de similaridade para calcular a distância entre o documento x e cada um dos documentos da base de dados (ou treinamento);
- II. Selecionam-se os k documentos da base que estão mais próximos, similares, ao documento x ;
- III. Classificar-se-á o documento x em uma determinada categoria, seguindo critérios de contagem pela categoria majoritária dos k documentos mais próximos, selecionados na etapa anterior.

A medida de distância mais utilizada no kNN é a Distância Euclidiana, onde para dois documentos i e j quaisquer, o cálculo é feito a partir da equação:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{n=1}^L (x_{in} - x_{jn})^2}$$

Sendo que L é o número máximo de atributos, em nosso trabalho a quantidade de bits do MD5.

Com a utilização da distância euclidiana, a leitura dos resultados passa a ocorrer da seguinte maneira, quanto mais próximo de 0 estiver a medida de distância, maior é o nível de similaridade, portanto, seriam mais sujeitos à fraude.

III. METODOLOGIA

Para que fossem realizados os experimentos optou-se por criar uma interface funcionalmente similar ao GAC, utilizando apenas arquivos no formato Word e com modelos de certificados padronizados pela coordenação. Ao todo foram quadro modelos diferentes para cursos, palestras, visitas técnicas e congressos. Um conjunto de 120 documentos foi selecionados e escolhemos 30% de cada modelo, portanto, 36 documento foram manualmente alterados com as seguintes informações: data, nome, conteúdo e carga horária.

Tendo os arquivos na base, iniciou-se o processo de transformação dos dados não-estruturados em estruturados da seguinte maneira, através dos recursos disponíveis na linguagem PHP, já que é a linguagem em que o GAC fora concebido e com a implementação do classificador kNN.

Primeiramente fora feita a leitura do documento, transformando seu conteúdo em *String* e, no passo adiante, a partir dessa *String* gerou-se um código *hash* de 128 bits, como um identificador único do documento. Sendo esse *hash* um código hexadecimal, Esse valor de *hash* fora convertido para valores numéricos para que pudessem ser utilizados com a medida de Distancia Euclidiana, a qual é um dos processos do algoritmo kNN.

A metodologia de avaliação de resultados foi a conhecida como *leave-one-out* (LOO). Neste método, n-1 exemplos treinam o modelo e o validam, testando o mesmo a partir do exemplo que é deixado de fora. Esse processo é repetido n vezes, porém, a cada execução é utilizado um exemplo diferente a fim de validar. (MANCINI, F. et al, 2007)

Para gerar os resultados foi feito o cálculo da acurácia de acerto, feitas a partir da equação representada pelos números de acertos divididos pelo total de amostras.

IV. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Foram feitos experimentos a fim de testar a eficácia dos métodos utilizados, representação dos documentos pelo MD5 convertidos e k-NN. O desempenho desta combinação atingiu uma acurácia de acerto de 93,9%, o que é um valor bastante significativo e que motiva o uso prático deste trabalho como um módulo do sistema GAC.

V. CONCLUSÃO

Com esse estudo foi possível encontrar uma maneira de pré-identificar documentos com sinais de similaridade, algo de grande representatividade para os problemas encontrados hoje no sistema GAC.

Fica para estudos posteriores a ideia para implementação de outros algoritmos de aferição de distâncias, como a Distância Cosseno, bem como estudar formas de avaliar documentos não-textuais que são comumente enviados a base da FCI e ainda não possuem nenhum tipo de verificação sistêmica implementada.

REFERÊNCIAS

- [1] SANTOS, Fernando Chagas. “Variações do Método kNN e suas Aplicações na Classificação Automática de Textos.(dissertação).” Dissertação de Mestrado, Inst. Informática, UFG, 2010.
- [2] Corruption Perceptions Index (2013). [Online]. Disponível: <http://www.transparency.org/cpi2013/results>
- [3] COSTA, Ana Paula Paulino da. e WOOD JR., Thomaz. “Fraudes corporativas.” *Rev. adm. empres.*, vol.52, n.4, pp. 464-472. 2012.
- [4] COSTA, V., CUSTODIO, RF., DIAS, JS. e Rolt CR. “Confiança na Tempestividade dos Documentos Eletrônicos: Auditoria da Protocolação Digital (anais eletrônicos).” em *5º Seminário de segurança em informática*, São José dos Campos, 2003, pp. 100-109.
- [5] DE OLIVEIRA, João WL. e FERNANDA, G. de L. “Implementação em Hardware do Algoritmo MD5-Melhoria em Termos de Área, Frequência do Relógio e Consumo de Potência (anais eletrônicos),” em WTICG, Brasília, 2007.
- [6] FERRERO, Carlos Andres. “Algoritmo kNN para previsão de dados temporais: funções de previsão e critérios de seleção de vizinhos próximos aplicados a variáveis ambientais em limnologia.(tese).” Tese de Doutorado, ICMC, USP, São Carlos, 2009.
- [7] KOVACH, Stephan. ”Detecção de fraudes em transações financeiras via internet em tempo real (tese).” Tese de Doutorado, Esc. Politécnica da Universidade de São Paulo, Depto. Eng. Comp. SD., USP, São Paulo, 2011.
- [8] MANCINI, Felipe et al. “Aplicação de redes neurais artificiais na classificação de padrões posturais em crianças respiradoras bucais e nasais.” *Revista de Informática Teórica e Aplicada*, v. 14, n. 2, p. 91-107, 2007.
- [9] MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Resolução CNE/CES nº 2/2007. Disponível: http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2007/rces002_07.pdf.
- [10] SANTOS, Priscila Furtado dos. “A desonestade de pessoas honestas : um experimento no Brasil (dissertação).” Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF. 2011.
- [11] SILVA, L.A. e VALLIM-FILHO, A.R.A. “Um processo de gestão e análise de Atividades Complementares com o uso do Ambiente Virtual de Aprendizado Moodle”, *Revista Trilha Digital*, v.1, pp.134-145.

Desenvolvimento de curso EaD para a formação de tutores do Jogo de Empresas Bom Burguer

Mariana de Toledo Marinho

José de Souza Rodrigues

Kátia Lívia Zambon

Departamento de Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
marianna.tmarinho@gmail.com

Departamento de Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
jose.souza@feb.unesp.br

Departamento de Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
katica@feb.unesp.br

Resumo— Experiências anteriores de capacitação de professores da rede pública de ensino como tutores do Jogo de Empresas Bom Burguer mostraram que os conteúdos relacionados ao empreendedorismo são fatores limitantes. Como estratégia para superar esta limitação propõe-se o desenvolvimento de um curso de Educação à Distância (EaD) no Moodle. Ambos, curso EaD e o Jogo de Empresas, são de apoio e mediação do processo ensino aprendizagem. A EaD constitui-se em um ambiente de conteúdos previamente preparados, que dará suporte aos professores/tutores. Ele também permite novas formas de interação entre alunos e professores, além de introduzir novas formas avaliativas no processo que proverão feedback a alunos e professores. Os conteúdos foram incorporados a atividades que usam recursos audiovisuais, facilitando a distribuição e uso deles de forma mais adaptável ao usuário. O jogo cria as condições para que o aprendizado se dê pela vivência do processo de gerir uma empresa, durante o qual os conteúdos de empreendedorismo e gestão de empresas são demandados. Esta pesquisa é aplicada, pois envolve o desenvolvimento prático de um ambiente de aprendizagem. Um teste preliminar foi realizado e algumas mudanças foram feitas, posteriormente haverá um novo teste para análise de percepção dos usuários e validação do ambiente. Assim, espera-se que este projeto contribua para melhorar o processo ensino-aprendizagem de empreendedorismo com o jogo Bom Burguer, beneficiando principalmente as escolas públicas.

Palavras chave— Empreendedorismo, TIC, Bom Burguer, EaD.

I. INTRODUÇÃO

Este trabalho é consequência de pesquisas anteriores, que mostraram que apesar do Jogo de Empresas (JE) Bom Burguer (disponível em www.bomburguer.net) ser uma inovação, os professores da rede pública de ensino tinham dificuldade em utilizá-lo por conta de deficiências relacionadas ao empreendedorismo, uma vez que ele, geralmente, não faz parte da grade curricular dos cursos de graduação em que estão habilitados a maioria dos professores da rede pública de

ensino. Desta forma, procurou-se criar subsídios para a utilização do Bom Burguer como apoio ao processo ensino aprendizagem com a Educação à Distância (EaD), utilizando a plataforma Moodle. Para atingir este objetivo, o trabalho foi estruturado a partir da criação de conteúdo e do estudo e análise das ferramentas do Moodle.

Como contribuição, este projeto apresenta uma metodologia de uso de jogos de empresas para apoio ao ensino de empreendedorismo em escolas públicas, incluindo o próprio jogo, o ambiente de aprendizagem e o *feedback*, já que o próprio Moodle dispõe de diversos mecanismos de avaliação de aprendizagem e acompanhamento dos alunos.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de ensino aprendizagem em uma sociedade interconectada demanda novas soluções. A Educação à Distância (EaD) é uma delas e é fortemente apoiada em tecnologia. Este método emprega largamente as Tecnologias da Informação e da Comunicação (TICs) e permite novas formas de interação entre alunos e professores, o desenvolvimento de conteúdos e atividades empregando recursos audiovisuais, a distribuição e uso de conteúdos de forma mais adaptável ao usuário, entre outras vantagens (KEEGAN, 1996) [1].

Moran, Masseto e Behrens (2008) [2] entendem que a EaD é estratégico para realizar mudanças profundas na educação como um todo, sendo cada vez mais uma opção importante para aprender ao longo da vida, para a formação continuada e para a aceleração da formação profissional, além de possibilitar a conciliação entre estudo e trabalho.

Inicialmente a associação de jogos de empresas e empreendedorismo ocorreu no treinamento e educação de executivos (BURCH JR., 1969) [3]. Com o passar do tempo, percebeu-se que muitas das características associadas ao empreendedor são demandadas dos profissionais atualmente, exigindo que elas sejam desenvolvidas ao longo do processo

educativo dos profissionais modernos. De certa forma, os jogos de empresas são uma forma de desenvolver competências e habilidades que são reconhecidas como típicas de um empreendedor. Para Goldschmidt (1977, p. 43) [4] “o jogo de empresas permite simular continuamente diversos tipos de decisões, diversas alternativas, de tal forma que os participantes têm condições de avaliar os resultados de diferentes decisões tomadas”.

Por essas características, o aprendizado mediado por jogos de empresas apresenta grande potencial de síntese e interconexão de conteúdos por ser um recurso didático-pedagógico multidisciplinar. Além disso, os jogos de empresas apresentam a vantagem de permitir que o aprendiz vivencie o processo decisório sem o risco de causar prejuízos ou danos às organizações reais (SCARELLI, 2009) [5]. É uma ferramenta que facilita o aprimoramento dos conhecimentos teóricos de disciplinas relacionadas à gestão de negócios, estimula o empreendedorismo e a visão sistêmica das organizações, exigindo do educando uma atitude proativa no processo educacional (NAGAMATSU et al., 2006; SANTOS e LOVATO, 2007) [6].

O Bom Burguer é um desses Jogos de Empresas, ele é disponibilizado em uma plataforma web e consiste na venda de um *kit*, composto por um sanduíche e um refrigerante. O professor parametriza salas e cada uma delas é composta por empresas, as quais são formadas individualmente ou em equipes pelos alunos, sendo que estes podem participar de várias salas e empresas.

Na visão do aluno, cada empresa tem que comprar na folha de decisão, ilustrada na Figura 1, a quantidade de matéria-prima que julga necessária para montar seus *kits* e vendê-los. Os dados coletados em relatórios, gráficos e análise dos cenários poderão ser traduzidos para a decisão que levará a empresa a um patamar competitivo (*ranking*) do “mercado” (sala) proposto no jogo (RODRIGUES et al., 2010) [7].

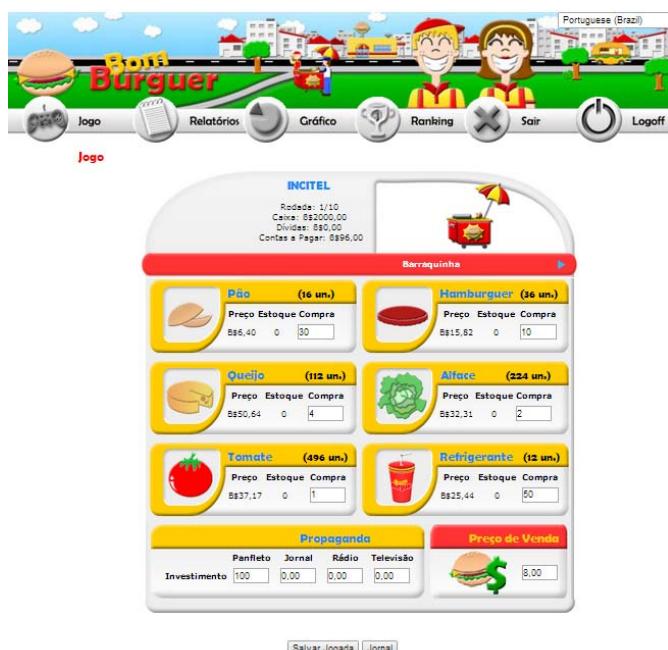


Fig. 1. Folha de decisão do Jogo de Empresas Bom Burguer.

O aluno começa a jogar inicialmente com uma barraquinha e, dependendo do caixa disponível, pode comprar um empreendimento de médio porte (quiosque) e, posteriormente, transforma-lo em um grande negócio (lanchonete).

Já na visão do professor, pode ser encontrada a parametrização da sala, onde é possível definir quantas rodadas esta terá, os valores dos produtos, o caixa inicial e as taxas de deterioração, perda, preço e juros de dívidas. Além disso, o professor pode criar um cenário a partir da ferramenta “Jornal” e disponibilizar documentos para *download* aos alunos.

Tomando-se como base o acima exposto, propõe-se facilitar o uso do ambiente, composto do jogo Bom Burguer e material didático de apoio ao ensino de empreendedorismo, através do desenvolvimento de um curso de capacitação de tutores em EaD. No ambiente do jogo é possível desenvolver parte das habilidades e competências de um empreendedor apresentadas na revisão da literatura, nomeadamente as relacionadas a tomar decisões, gerir um pequeno negócio, analisar e compreender relatórios contábeis (os disponíveis no jogo), analisar os competidores, ter uma postura ativa, entre outras.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizou-se o Moodle, um *software* livre de apoio à EaD, que permite a criação de cursos *on-line*, páginas de disciplinas, grupos de trabalho e comunidades de aprendizagem. A UNESP, através do Núcleo de Ensino à Distância (NEad), é a responsável pela disponibilização acadêmica do Moodle.

O curso em questão está em formato de tópicos visando “aumentar a flexibilidade de ensino e alcançar melhor equilíbrio entre a reflexão individual e a discussão *on-line*”, como proposto por Alves, Barros e Okada (2009, p. 24) [8].

Do ponto de vista metodológico, esta pesquisa é aplicada, pois envolve o desenvolvimento do ambiente EaD. A avaliação deste ambiente será feita por meio de uma atividade com professores voluntários da rede pública de ensino, analisando as facilidades de seu uso e o conteúdo do material.

IV. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

O curso aborda os temas aprendizagem, empreendedorismo e JE Bom Burguer para alcançar o objetivo de formar tutores do jogo. O primeiro tem o objetivo de levar o aluno e/ou tutor a refletir sobre como enfrenta desafios, ou seja, como lida com o próprio aprendizado. Com esta reflexão pretende-se levar o aluno a pensar sobre como sua postura influencia sobre os resultados que obtém. O segundo objetiva a gerar aprendizado sobre empreendedorismo, incluindo a reflexão sobre o empreendedorismo sob duas óticas, a do mundo do trabalho e a da criação e gestão de negócios. E o terceiro propõe eliminar, o máximo possível, as interferências do jogo no aprendizado de empreendedorismo, ou seja, minimizar os efeitos do domínio da tecnologia empregada (jogo e sua estrutura).

Além disso, para analisar a percepção dos usuários e validar o ambiente em um teste posterior, foram configurados quatro tipos de questionários no Moodle: *Constructivist On-Line Learning Environment Survey* (COLLES), *Attitudes to Thinking and Learning Survey* (ATTLS), escala Linkert e múltipla escolha.

Os questionários COLLES e ATTLS são formatados pelo Moodle, não permitindo edição. O COLLES foi projetado para monitorar as práticas de aprendizagem *on-line* e verificar o quanto estas práticas se configuram como processos dinâmicos favorecidos pela interação. Já o ATTLS foi desenvolvido por Galotti et al. (1999) [13] para medir a proporção em que uma pessoa tem um saber conectado ou um saber destacado. Já os questionários de múltipla escolha e na escola Linkert foram desenvolvidos pelos autores, a fim de determinar o perfil dos alunos e analisar a estrutura do curso, respectivamente.

A. Módulo Aprendizagem

O módulo Aprendizagem foi dividido em 2 partes, como mostra a figura 2. A primeira parte contém texto sobre “identidade de aprendizagem” de Kolb e Kolb (2009) [9], onde são apresentados os conceitos de identidade de aprendizado e suas consequências para o modo como as pessoas tendem a lidar com os desafios que encontram na vida. Além disso são apresentados também o funcionamento do Moodle e do método de ensino à distância. Ao final, há um questionário com perguntas baseadas no texto.

Na segunda parte, são apresentadas as habilidades que os trabalhadores do futuro devem ter, com o texto Future Work Skills, do Institute for the Future (2011) [10], e notícias da mídia, além da explicação do modelo de avaliação formativa, proposto por Juwah et al. (2004) [11], composto de sete princípios de boas práticas de *feedback*, ou seja, ele deve:

- 1) Facilitar o desenvolvimento da autoavaliação na aprendizagem;
 - 2) Encorajar professores a discutirem aprendizagem (o que é, se os alunos estão aprendendo, se as estratégias adotadas estão produzindo os resultados esperados, etc.);
 - 3) Ajudar a esclarecer o que é uma boa performance (objetivos, critérios, padrões esperados);
 - 4) Criar oportunidades para que seja reduzida a diferença entre performance desejada e real;
 - 5) Fornecer informações de alta qualidade para os estudantes sobre o aprendizado deles;
 - 6) Motivar (criando e fortalecendo valores positivos) e aumentar a autoestima dos estudantes;
 - 7) Fornecer informações aos professores que podem ser usadas para melhorar a prática docente;
- Após os textos, há três questões dissertativas sobre o que o usuário pensa sobre essas habilidades do futuro.

Fig. 2. Visão do módulo Aprendizagem.

B. Módulo Empreendedorismo

O módulo Empreendedorismo foi dividido em três partes. Na primeira é apresentado o conceito de empreendedor e empreendedorismo e uma atividade no Hot Potatoes (2014) [12], software para o desenvolvimento de atividades como *quiz* e *crossword*, para ambientes EaD (disponível em: <https://hotpot.uvic.ca/>).

Na segunda parte é explicado o mito de que empreendedor é apenas o dono de um negócio e a diferença entre o trabalhador com carteira assinada e o empreendedor dono de seu próprio negócio, além de um questionário de alternativas desenvolvido no Hot Potatoes para ser respondido ao final do conteúdo. Já na terceira parte, são disponibilizados *links* de vídeos com relatos reais de pessoas que se propuseram a enfrentar desafios e tiveram sucesso no que trabalhavam. Para refletir sobre esses vídeos, há também um exercício dissertativo.

Módulo Empreendedorismo - Parte I

O tema abordado neste tópico é inerente ao nosso cotidiano e nos leva a observar o quanto somos empreendedores (Você está fazendo este curso!!!) e quantas pessoas conhecemos que também são. Aproveite as leituras e aprenda mais sobre Empreendedorismo...

Tarefa: 1 Página: 1 Arquivo: 1 Atividade Hot Potatoes: 1 Progresso: 1 / 4

Módulo Empreendedorismo - Parte II

Na atividade de professor somos confrontados com a realidade de nossos alunos, muitas vezes, não tão boas... Que tal aprendermos um pouco mais sobre as possibilidades do empreendedorismo e ajudá-los a se tornar cidadãos mais promissores e bem sucedidos?

Página: 1 Arquivos: 3 Atividade Hot Potatoes: 1 Tarefa: 1 Progresso: 0 / 6

Módulo Empreendedorismo - Parte III

Aqui, faremos uma viagem sobre o mundo do empreendedorismo, com relatos reais de pessoas que se propuseram a enfrentar desafios e que tiveram sucesso. Você vai ver e ouvir histórias interessantíssimas...

Página: 1 URLs: 4 Tarefa: 1 Progresso: 0 / 6

Fig. 3. Visão do módulo Empreendedorismo.

C. Módulo Bom Burguer

O módulo Bom Burguer foi dividido em quatro partes. Na primeira parte é introduzido o que são Jogos de Empresas e o que é o Bom Burguer. Na segunda parte o professor será apresentado às funcionalidades do jogo com a visão de jogador. Já na terceira e quarta parte, o professor conhece o jogo na visão do professor, na terceira parte ele aprende a parametrizar a sala e na quarta as ferramentas que essa visão possui. Todas as partes têm um questionário sobre o assunto aprendido.

Módulo BomBurguer - Parte I

As atividades lúdicas nos permitem trazer para a sala de aula novas formas de aprendizagem. No caso do empreendedorismo, os jogos de empresas são fortes aliados neste processo. Agora, você vai conhecer o Jogo de Empresas Bom Burguer, caracterizado pela venda de sanduíches e refrigerantes, no qual os alunos podem competir por um mercado que faz parte da realidade em que vivem.

Páginas: 4 Arquivos: 4 Tarefas: 2 Progresso: 0 / 10

Módulo BomBurguer - Parte II

Aqui, você como tutor do Jogo Bom Burguer conhecerá a ferramenta na mesma visão que seu aluno terá ao jogá-lo. Nos próximos tópicos, você saberá "o que há por trás do jogo".

Páginas: 3 Arquivos: 4 Tarefa: 1 Questionário: 1

Módulo BomBurguer - Parte III

A partir deste tópico você conhecerá o ambiente de atuação do professor, criando as salas para que seus alunos participem do jogo e atuem como futuros empreendedores. A parametrização das salas pode conter situações que alteram o mercado e você poderá inserir isto no jogo através da funcionalidade do "Jornal". Crie suas próprias notícias e movimente a competição entre seus alunos!!!

Páginas: 2 Arquivos: 2 Pesquisa de avaliação: 1 Tarefa: 1 Progresso: 0 / 6

Módulo BomBurguer - Parte IV

Agora você aprenderá o que é parametrização e como usá-la para manipular uma jogada através do jornal do professor, causando situações favoráveis ou desfavoráveis de venda ao aluno. Assim, ele aprenderá a pensar em estratégias de maior lucro com as vendas ou, até mesmo, menor perda, simulando situações reais com as quais ele poderá se deparar.

Páginas: 2 Arquivos: 2 Questionário: 1 Progresso: 0 / 5

Fig. 4. Visão do módulo Bom Burguer.

V. CONCLUSÕES

Após a finalização da construção do curso no Moodle, percebeu-se o enriquecimento do ambiente em termos de apoio à aprendizagem ao aluno à medida que ele possa se autoavaliar realizando atividades que exijam domínio sobre o jogo e os conceitos nele utilizados, tendo à sua disposição materiais de apoio à aprendizagem.

O Moodle e suas ferramentas auxiliam o processo educacional, mas é necessário que o formador (desenvolvedor do curso) tenha um preparo adequado para que se aproveite todos os recursos do *software*. Além disso, o tempo gasto em um curso na modalidade EaD desde seu planejamento, publicação e utilização é muito maior que em um curso presencial e exige maior dedicação e conhecimento tanto do tema quanto da tecnologia a ser utilizada. Portanto, será realizado posteriormente um teste experimental com técnicos de informática e professores para validação e refinamento do ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] KEEGAN, D. Definition of distance education. 3. ed. Londres: Routledge Taylor & Francis, 1996.
- [2] MORAN, J. M.; MASSETO, M. T.; BEHRENS, M. A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 14 ed. Campinas, SP: Papirus, 2008.
- [3] BURCH JR., J. G. Business Games and Simulation Techniques. Management Accounting, 1969.
- [4] GOLDSCHMIDT, P. C. Simulação e jogo de empresas. In: Revista de administração de empresas. Rio de Janeiro: FGV, 1977.
- [5] SCARELLI, A. Mediação do processo ensino aprendizagem com o jogo de empresas Mercado Virtual: Uma pesquisa de opinião. Dissertação (Mestrado). UNESP. Bauru, 2009.
- [6] NAGAMATSU, F. A.; FEDICHINA, M. A. H.; GOZZI, S.; BOLDRIN, V. P. A aplicação do jogo de empresas no desenvolvimento gerencial: um estudo aplicado em cursos de graduação e pós-graduação (nível lato sensu). In: IX SEMEAD – Seminários em Administração, FEA, USP, São Paulo, 2006.
- [7] RODRIGUES, J. S.; et al. Projeto “Empreendedores na escola”: utilização do jogo de empresas Bom Burguer. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos, 2010.
- [8] ALVES, L.; BARROS, D.; OKADA, A. Moodle: estratégias pedagógicas e estudos de caso. 1. ed. Bahia: EDUNEB, 2009.
- [9] KOLB, A.; KOLB, D. A. On becoming a learning: the concept of learning identify. CAEL Forum and News, 2009.
- [10] INSTITUTE FOR THE FUTURE. Future work skills 2020. Palo Alto, Califórnia, 2011.
- [11] JUWAH, C. et al. Enhancing student learning through effective formative feedback. *The Higher Education Academy*, 2004.
- [12] HOT POTATOES. Software. Disponível em: <https://hotpot.uvic.ca/>. Acesso em 20 de dez. 2014.
- [13] GALOTTI, K. M. et al. A New Way of Assessing Ways of Knowing: The Attitudes Towards Thinking and Learning Survey (ATTLS). Sex Roles, 1999.

Avaliação da importância do Sebraetec para o desenvolvimento das micro e pequenas empresas de Santa Rita do Sapucaí

Prof. Me. André Luis da Rocha Abbade

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
abbade@inatel.br

Juliana Aparecida Ananias

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
julianaanarias@tgt.inatel.br

Resumo — Algumas empresas nascem e desenvolvem ideias inovadoras que certamente representariam uma grande alternativa para a evolução da economia do país, porém o recurso financeiro é um empecilho para alguns empreendedores. Existem alguns programas que servem como incentivo para esses casos e um destes é o SEBRAETEC. Este artigo apresenta uma pesquisa com o objetivo de se avaliar a importância do Sebraetec para o desenvolvimento das micro e pequenas empresas da cidade de Santa Rita do Sapucaí-MG.

Palavras-chave — Empresas, ideias, apoio à inovação, economia, SEBRAETEC.

I. INTRODUÇÃO

O SEBRAETEC é um programa do SEBRAE que tem como objetivo disponibilizar recursos financeiros para apoiar micro e pequenas empresas no desenvolvimento de projetos inovadores. Os recursos são acessíveis para pequenas empresas, provendo soluções em sete áreas de conhecimento da inovação: Design; Produtividade; Propriedade Intelectual; Qualidade; Inovação; Sustentabilidade e; Tecnologia da Informação e Comunicação. [1]

O trabalho que é objeto deste artigo foi iniciado em outubro de 2014 e tem o intuito de mensurar o grau de importância deste recurso para o desenvolvimento das empresas de Santa Rita do Sapucaí-MG. Esta atividade está sendo realizado pela Juliana Aparecida Ananias, aluna do Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Telecomunicações do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), orientada pelo Professor Me. André Luis da Rocha Abbade e contando com o apoio e coorientação do Sr. Rodrigo Ribeiro Pereira, Analista Técnico do SEBRAE do município de Santa Rita do Sapucaí-MG.

Em um primeiro momento, foi realizada uma reunião com o Sr. Rodrigo para entender melhor como o SEBRAE coordena este programa de apoio à inovação. Na sequência, foram identificadas algumas questões importantes a serem analisadas e com estas premissas definidas foi elaborado um formulário com algumas perguntas. O passo seguinte foi mapear as empresas incubadas e as graduadas do Inatel que já haviam

utilizado os recursos do Sebraetec, além de pegar com o Sr. Rodrigo uma lista das empresas já beneficiadas por este programa na cidade. As entrevistas começaram a ser feitas em novembro de 2014 e devem se estender até meados de 2015.

II. OBJETIVO DA PESQUISA

O objetivo principal da pesquisa é mensurar e avaliar o grau de importância do Sebraetec para o desenvolvimento das micro e pequenas empresas da cidade de Santa Rita do Sapucaí. Para que esta avaliação seja bem feita, a pesquisa deve extrair dos empresários suas opiniões sobre o recurso, sempre que possível quantificando e qualificando os projetos que foram desenvolvidos através do programa. Os empresários devem também informar como seria o desenvolvimento do produto caso a empresa não pudesse contar com este recurso e se o projeto contribuiu para o avanço da economia local.

III. CENÁRIO ESCOLHIDO

O cenário escolhido para desenvolvimento da pesquisa são empresas de base tecnológica da cidade de Santa Rita do Sapucaí-MG. Este município é conhecido como “O Vale da Eletrônica”, pois tem mais de cento e sessenta empresas de tecnologias nas áreas de eletrônica, automação, software, telecomunicações e áreas afins. Além disto, é uma das cidades que mais submete projetos e utilizam os recursos do SEBRAETEC.

IV. ENTREVISTAS

Para o inicio da pesquisa a incubadora de empresas do Inatel foi consultada para passar informações das empresas residentes e graduadas que já haviam utilizado recursos do Sebraetec. No mesmo período, em dezembro de 2014, houve um evento de graduação de empresas incubadas do município e, neste evento, diversos empreendedores agradeceram ao Sebrae pela oportunidade de utilizar este recurso, ressaltando a importância deste para o desenvolvimento de seus projetos.

Até o momento doze empreendedores foram entrevistados, sendo dois de empresas da incubadora do INATEL, dois de empresas graduadas no INATEL, quatro de empresas da Incubadora Municipal, a PROINTEC, e quatro de empresas já graduadas pela PROINTEC. A Tabela 1 apresenta o nome das empresas, do empreendedor entrevistado e a data de cada entrevista.

Tabela 1: Relação de empresas, empreendedores e data da entrevista.

Empresa	Empreendedor	Data da entrevista
PHOTON	Neiriberto Azevedo	20/11/14
HIT	Marcos Francisco Ferreira Carvalho	26/11/14
LUMENX	Gustavo Henrique Costa	01/12/14
DEVISE	Juliano Andrade	20/12/14
SANCOUT	Juliano Braz dos Santos	11/02/15
MAXLINK	Viviana Ferreira Blanez	12/02/15
INTELLIGES	Daniela Pereira Filette	12/03/15
VISION ENERGIA	Paulo Moura	27/03/15
LIFETEC DO BRASIL	Andreia Malaquias dos Santos	31/03/15
EXSTO	Domingos José Adriano	06/04/15
PAUHER TECNOLOGY	Mário Brandão	06/04/15
BERTOLONI	Luís Fernando Bertolini e Mariângela Zaule Bertolini	06/04/15

V. CRITÉRIOS DA ENTREVISTA

Para elaboração do formulário foram elaboradas perguntas com o objetivo de extrair das empresas uma avaliação do seu projeto com a utilização do recurso, analisando-o em relação à qualidade do serviço prestado pelo órgão executor do projeto e o estágio do produto. Com o objetivo de gerar um resultado quantitativo e mensurável para a pesquisa, foi solicitado aos empresários que atribuissem uma nota de 0 a 10 de como eles estimariam a qualidade de seu produto sem o recurso e como eles quantificariam seu produto final, atribuindo outra nota de 0 a 10, com o recurso.

Outra questão importante para a pesquisa foi identificar como foi utilizado o recurso e quais eram os projetos. Através destas informações consegue-se analisar se os projetos realmente se encaixam na categoria de inovação, já que é objetivo do SEBRAE incentivar projetos inovadores.

A Tabela 2 apresenta a análise quantitativa com os dados coletados. A Sra. Viviana da Maxlink preferiu não qualificar seus produtos, pois o projeto ainda estava em andamento na data da entrevista e por este motivo a empresa não aparece na tabela, mas ela ressalta que já está otimista com as possibilidades de melhoria previstas. Pode-se observar que todos os empreendedores reconheceram que o recurso aumentou sensivelmente a qualidade e atratividade de seus produtos.

Tabela 2: Análise quantitativa estimada pelos empreendedores sobre a qualidade do produto sem e com o recurso.

Empresa	Produto	Nota de 0 a 10 com recurso	Nota de 0 a 10 sem recurso
PHOTON	Software de gestão de energia	10	6
HIT	Controlador de imagens, vídeos e áudio	9,5	2
LUMENX	Não comentou, pois ainda está em desenvolvimento.	9	1
DEVISE	Controle Remoto analógico ou digital de ventiladores	9,5	6
SANCOUT	Visualizador Digital de radiografias	10	3
INTELLIGES	Descongelador de Célula Tronco	10	7
VISION ENERGIA	Fonte Micro Nobreak	10	7
LIFETEC do Brasil	Negatoscópio em Leds	10	3
EXSTO	Gravador Holtek	9	6
PAUHER TECNOLOGY	Produtos da área de saúde	10	5
BERTOLONI	Amplificador de áudio e baixo	10	4
Média		9,7	4,5

VI. RELATOS DOS EMPRESÁRIOS

A Tabela 2 já evidencia quantitativamente como os empresários consideram importante o recurso, entretanto, é importante também destacar alguns relatos dos empresários com suas opiniões qualitativas sobre a importância do Sebraetec:

1) Empresa PHOTON

O Sr. Neiriberto ressalta que após o aperfeiçoamento seu produto se tornou bem mais conhecido, seu público alvo que eram apenas as pequenas empresas passou a ser também, e principalmente, as grandes empresas. O produto já passou por um pré-lançamento na FIVEL/2014 e participou de um evento na FIESP, na feira das incubadoras e empreendedores de 2014, onde o projeto ganhou o prêmio de 1º lugar dentre 2500 empresas de todo território nacional.

2) Empresa HIT

De acordo com o empresário Marcos, com o Sebraetec dobrou-se as expectativas de vendas do produto, pois sem o recurso o projeto ainda estaria numa fase primitiva e na data da entrevista o produto estava em fase de prospecção de clientes, com objetivo de lançamento em janeiro de 2015. O Sr. Marcos ressalta que o tempo e a qualidade dos órgãos

executores se torna um diferencial para o desenvolvimento e o lançamento do produto.

3) Empresa LUMENX

O Sr. Gustavo ressalta que essa iniciativa do SEBRAE é uma excelente alternativa para as pequenas empresas que tem um projeto inovador e que isso se tornou o pontapé inicial para viabilização do seu negócio.

4) Empresa DEVISE

O Sr. Juliano Andrade enfatizou o quanto o recurso é essencial para viabilizar qualquer projeto, pois as empresas precisam dessa motivação, principalmente se começadas do zero. Este recurso ajuda a viabilizar esses projetos, sendo fundamental para o crescimento da empresa, contribuindo no aumento do mercado de trabalho e na economia do país.

5) Empresa SANCOUT

Para o Sr. Juliano Santos o recurso Sebraetec é muito importante, pois através dele o micro empresário e pequenas empresas conseguem viabilizar financeiramente seus projetos, e que em muitos casos nem seriam introduzidos no mercado devido à falta de recursos.

6) Empresa MAXLINK

Conforme entrevista feita, mesmo considerando que o projeto ainda não foi desenvolvido, a Sra. Viviana já enxerga a importância do recurso e consegue visualizar que irão ganhar muito no tempo e na qualidade do órgão executor do projeto. A empresária já está animada para submeter novas ideias para o SEBRAETEC.

7) Empresa INTELLIGES

Na opinião da Sra. Daniela o recurso se tornou importante em relação ao tempo para desenvolvimento do produto, tornando-o mais competitivo, porém o SEBRAETEC poderia ampliar o escopo da sua linha de créditos, pois a aquisição da matéria prima para montagem do produto também é um empecilho para as empresas.

8) Empresa VISION ENERGIA

Na opinião do Sr. Paulo o apoio do recurso foi muito importante para o lançamento do produto num espaço de tempo menor, porém de acordo com algumas regras impostas a empresa preferiu não mais submeter seus projetos.

9) Empresa LIFETEC DO BRASIL

De acordo com os relatos da Senhora Andreia, as micro e pequenas empresas muitas vezes não tem capital suficiente

para desenvolver seus projetos e esse apoio do SEBRAE vem como solução para esse problema.

10) Empresa EXSTO

Para o Sr. Domingos, principalmente nos anos iniciais da empresa, todas as ações do SEBRAE foram muito importantes para o desenvolvimento da empresa. Não só o SEBRAETEC, mas também o apoio em cursos, consultorias e participação em feiras e eventos. Em função disso, são muito gratos ao SEBRAE. Quanto ao SEBRAETEC em especial, em sua opinião é um projeto interessante, pois permite que projetos de pequenos porte tenham oportunidade de serem executados e irem pro mercado.

11) Empresa POUHER TECNOLOGY

O Sr. Mario não deu sua opinião quanto ao SEBRAETEC, porém deixou claro que precisaria de um sócio investidor para ser capaz de executar o projeto sem o recurso.

12) Empresa BERTOLONI

Na opinião dos gestores da BERTOLONI, o SEBRAETEC é muito importante, pois além dos recursos financeiros disponibilizados, o SEBRAE tem pessoas extremamente competentes para apoiá-los em seus projetos, principalmente em Santa Rita do Sapucaí. Além disto, é importante salientar que o SEBRAE está realmente presente no dia-a-dia das empresas, e o SEBRAETEC abre as portas, por exemplo, para feiras internacionais, e isto ajuda as micro e pequenas empresas a colocar seus produtos no mercado.

VII. DADOS DE FATURAMENTO E CONTRATAÇÃO

Considerando as 12 empresas já entrevistadas, que algumas delas ainda estão no período de incubação e que seus produtos ainda não estão em vendas, nem todos os empresários se sentiram à vontade para expor dados financeiros. A Tabela 3 apresenta os dados apresentados por cinco empresas.

Tabela 3: Demonstração do nº de funcionários contratados e receita bruta mensal das empresas:

Empresa	Faturamento mensal	Nº de funcionários
VISION ENERGIA	R\$250.000,00	
LIFETEC DO BRASIL		5
EXSTO		4
BERTOLONI	1ºano R\$10.000,00 E 2º ano R\$30.000,00	2
DEVISE		5

VIII. PARTICIPAÇÃO DO RECURSO NA ECONOMIA

Esta pesquisa ainda será consolidada com uma amostra maior de empreendedores, mas já se pode perceber a importância do SEBRAETEC para as empresas beneficiadas com o recurso. Cabe aqui ressaltar que o objetivo do programa é incentivar projetos inovadores, apoiando-os financeiramente. Através do apoio as empresas conseguem viabilizar seus projetos e lançá-los no mercado, aumentam-se as vendas, e consequentemente a empresa aumentará seu quadro de funcionários. Aquele produto inovador que corria o risco de ficar somente no papel ou passar da época para ser lançado, com o SEBRAETEC aumenta-se muito a possibilidade de ir para o mercado com qualidade e no tempo certo. A empresa cresce, se estabelece e tem sua fatia de clientes.

Após ter passado pelas fases de desenvolvimento do projeto, colocação do produto no mercado e se tornado empresa sólida, a mesma passa a ter uma receita recorrente, aumentando seus impostos e mantendo ou ampliando o número de funcionários. Como consequência, isto justifica e traz como garantia ao governo a continuação do programa.

IX. CONCLUSÃO

Pode-se perceber que o SEBRAETEC é muito importante para alavancar projetos de micro e pequenas empresas e é um recurso essencial para a viabilização financeira de muitos projetos. Ele permite uma qualidade superior ao produto em tempo adequado e sabe-se que isto é quesito fundamental para qualquer produto, assim como o seu lançamento no tempo certo é o que pode garantir seu sucesso no mercado.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **SEBRAE.** Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/Programas/Sebraetec:-inovar-no-seu-pequeno-neg%C3%BDcio-pode-ser-simples>. Acesso em: 01 mar. 2015.

Análise Envoltória de Dados: uma aplicação na avaliação dos cursos da área Engenharia IV

Profa. Dra. Denise Helena Lombardo Ferreira
 Pontifícia Universidade Católica de Campinas –
 PUC-Campinas
 Faculdade de Engenharia de Produção
 lombardo@puc-campinas.edu.br

Luciano Hideaki Fujita
 Pontifícia Universidade Católica de Campinas –
 PUC-Campinas
 Faculdade de Engenharia de Produção
 luciano.hf@puccampinas.edu.br

Resumo—Este trabalho tem como foco mostrar possibilidades do uso da ferramenta Análise Envoltória de Dados (DEA) no auxílio à tomada de decisão relacionada aos cursos de pós-graduação da área de Engenharias IV, mais especificamente os cursos da Engenharia Elétrica (Elétrica, Telecomunicação, Eletrônica, Computação e Sistemas de Comunicação e Automação e Informação) e Engenharia Biomédica (Biomédica e Informação). A ferramenta DEA – Modelo CRS foi usada para medir a eficiência dos programas de pós-graduação da área de Engenharia IV da CAPES tendo em vista a produção e publicação de artigos científicos e de dissertações e teses.

Palavras-chave—Análise envoltória de dados, Avaliação educacional, Engenharias IV, Modelo CRS.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de modelos matemáticos e estatísticos para auxiliar na tomada de decisão vem sendo cada vez mais difundida e empregada com o propósito de analisar, prever, compreender e interpretar problemas diversos.

Problemas nas diferentes áreas da engenharia são explorados e desenvolvidos, empregando conteúdos matemáticos para estudar, resolver e analisar dados experimentais com a finalidade de fazer previsões sobre o fenômeno de interesse.

Um exemplo disso é a utilização da ferramenta Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis – DEA). DEA é uma ferramenta estatística não paramétrica que avalia a eficiência de unidades tomadoras de decisão, comparando entidades que realizam tarefas similares e se diferenciam pela quantidade de recursos (*inputs* ou insumos) e de bens (*outputs* ou produtos) envolvidos [1]. As unidades avaliadas são denominadas por DMUs (*Decision Making Units*).

A Análise Envoltória de Dados tem sido usada no estudo da eficiência relativa das unidades em questão em muitas áreas, como educação, administração, engenharia etc.

A produtividade baseada nos insumos e produtos em empresas que fabricam bens de consumo, no qual se busca diminuir os insumos e maximizar os produtos a fim de alcançar maior lucratividade e tornar-se mais competitivo no mercado, caracteriza-se como uma possível aplicação da ferramenta DEA.

Com o intuito de mostrar uma aplicação da Análise Envoltória de Dados, o presente trabalho faz uso dessa

ferramenta para avaliar a eficiência de cursos de pós-graduação da área de Engenharias IV da CAPES.

II. METODOLOGIA

A Análise Envoltória de Dados permite avaliar vários fatores: técnico, econômico, social e ambiental, realizando uma análise integrada desses fatores. A ferramenta DEA tem como objetivo calcular a eficiência de unidades produtivas (DMUs), conhecendo-se os níveis de recursos empregados e de resultados obtidos, otimizando cada observação individual, de modo a estimar uma fronteira eficiente, composta das unidades que apresentam as melhores práticas dentro da amostra em avaliação. Essas unidades servem como referência ou *benchmark* para as unidades ineficientes [2].

Há dois modelos DEA clássicos: CRS e BCC. O modelo CRS (*Constant Returns to Scale*) aborda como hipótese retornos constantes à escala [3]. Em sua formulação matemática cada DMU é considerada como uma unidade de produção que utiliza n *inputs* x_{ik} ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$) para gerar m *outputs* y_{jk} ($j = 1, 2, 3, 4, \dots, m$).

O presente trabalho faz uso do modelo CRS por ser o mais difundido na literatura [4]. No modelo CRS é maximizado o quociente entre a combinação linear dos *outputs* e a combinação linear dos *inputs*, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1, gerando um problema de programação fracionária, que pode ser linearizado mediante alguns artifícios matemáticos, resultando em um Problema de Programação Linear (PPL) (equação 1).

$$\begin{aligned} \text{Max } h_o &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} \\ \text{sujeito a} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, \quad k=1, 2, 3, 4, \dots, n \\ u_j, v_i &\geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned} \tag{1}$$

Onde: h_0 é a eficiência da DMU o em análise; x_{ik} representam o *input* i da DMU k e y_{jk} representa o *output* j

da DMU k ; v_i e u_j , representam os pesos dados aos *inputs* i e *outputs* j , respectivamente.

Para utilização da ferramenta DEA algumas características devem ser consideradas:

- O DEA é eficiente quando o número de entradas e saídas é menor que o número de DMUs.
- Utilizar o número de DMUs no mínimo duas vezes a multiplicação de insumos e produtos.
- Não é aconselhável misturar unidades de medida.
- Não omitir variáveis correlacionadas.
- Os insumos devem ser variáveis a serem minimizadas e os produtos as variáveis a serem maximizadas.

Como material de estudo para o presente trabalho, os dados escolhidos foram os disponíveis no site da CAPES [5], com foco nos cursos da área de Engenharias IV (engloba os cursos da Engenharia Elétrica e Engenharia Biomédica).

O Quadro I destaca os códigos referentes às Universidades/Cursos considerados nesse estudo.

QUADRO I
CÓDIGO DE UNIVERSIDADES/CURSOS.

CÓDIGO	UNIVERSIDADE/CURSO
I	UFMG - Engenharia Elétrica
II	UFPE - Engenharia Elétrica
III	UFPR - Engenharia Elétrica
IV	UTFPR - Engenharia Elétrica
V	UNIFEI - Engenharia Elétrica
VI	UFRJ - Engenharia Biomédica
VII	UNIVAP - Engenharia Biomédica
VIII	UFPE - Engenharia Biomédica
IX	PUC/SP - Engenharia Biomédica
X	UFABC - Engenharia da Informação
XI	FESP/UPE - Engenharia de Sistemas
XII	UFLA - Engenharia de Sistemas
XIII	UFF - Engenharia de Telecomunicações
XIV	ITA - Engenharia Eletrônica e Computação
XV	UERJ - Engenharia Eletrônica
XVI	UFG - Engenharia Elétrica e de Computação
XVII	UFERSA - Sistemas de Comunicação e Automação
XVIII	UFSC - Engenharia de Automação e Sistemas
XIX	UTFPR - Engenharia Elétrica e Informática Industrial
XX	UFG - Engenharia Elétrica e de Computação

III. ESTUDO DE CASOS

Os dados utilizados para o estudo foram os seguintes: número de docentes permanentes da instituição, número de teses e dissertações e quantidade de artigos de classificação A e B [5]. Essas informações encontram-se nas Tabelas I e II.

A seguir são detalhadas as rodadas realizadas com os dados mencionados acima. As rodadas foram feitas utilizando o *Microsoft Office Excel* 2010 e a ferramenta de Análise Envoltória de Dados, *Envelopment Model da OpenSolver* denominado *DEAFrontier Software* (<http://www.deafontier.net/frontierfree.html>).

A. Rodada 1

Neste estudo utilizou-se como *input* o número de docentes permanentes e como *output* o número de teses e dissertações.

A Tabela I apresenta essas informações e o resultado obtido (eficiência) de cada Universidade/Curso.

TABELA I
DADOS E EFICIÊNCIA DA RODADA 1.

DMU	INPUTS	OUTPUTS		RESULTADO	
		Código	Docentes permanentes	Número de Teses	Número de Dissertações
I	40	45	168	1,00000	
II	17	13	54	0,75630	
III	18	0	51	0,67460	
IV	11	0	0	0,00000	
V	17	24	71	1,00000	
VI	17	14	56	0,78431	
VII	21	5	38	0,43084	
VIII	10	0	0	0,00000	
IX	9	0	0	0,00000	
X	29	0	46	0,37767	
XI	12	0	10	0,19841	
XII	8	0	19	0,56548	
XIII	13	0	51	0,93407	
XIV	25	48	90	1,00000	
XV	18	0	31	0,41005	
XVI	9	0	28	0,74074	
XVII	10	0	1	0,02381	
XVIII	21	16	60	0,68027	
XIX	36	32	108	0,71592	
XX	9	0	28	0,74074	

Como esperado, Universidade/Curso com nenhuma produção de tese ou dissertação o resultado obtido foi a eficiência nula.

B. Rodada 2

Para essa rodada considerou-se *outputs* como sendo o número de artigos com avaliação A e com avaliação B, para o *input* manteve-se o número de docentes permanentes. A Tabela II apresenta o resultado das eficiências obtidas, e, provavelmente, mais significativo ao comparar com os resultados da Rodada 1.

TABELA II
DADOS E EFICIÊNCIA DA RODADA 2.

DMU	INPUT	OUTPUTS		RESULTADO	
		Código	Docentes Permanentes	Número de Artigos A	Número de Artigos B
I	40	113	59	1,00000	
II	17	35	27	0,75961	
III	18	47	33	0,95251	
IV	11	5	10	0,20124	
V	17	34	40	0,78656	
VI	17	32	69	0,85105	
VII	21	25	151	0,99179	
VIII	10	7	30	0,41379	
IX	9	6	7	0,26179	
X	29	47	67	0,66163	
XI	12	17	23	0,57216	
XII	8	14	58	1,00000	
XIII	13	14	15	0,41674	
XIV	25	36	85	0,66877	
XV	18	21	28	0,46982	
XVI	9	10	22	0,50528	
XVII	10	6	17	0,29567	
XVIII	21	46	55	0,86399	

XIX	36	72	101	0,81374
XX	9	10	22	0,50528

C. Rodada 3

Ao comparar as eficiências das Rodadas 1 e 2, os resultados mostram que os comportamentos das duas rodadas são proporcionais. Devido a isso, decidiu-se realizar a Rodada 3 combinando todos os elementos de análise, isto é, os dados utilizados nas Rodadas 1 e 2. A Tabela III sintetiza os resultados das três rodadas realizadas nesse estudo.

TABELA III
COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.

CÓDIGO	NOTAS	APENAS TESES E DISSERTAÇÕES (ROD. 1)	APENAS ARTIGOS (ROD. 2)	TOTAL (ROD.3)
I	7	1,00000	1,00000	1,00000
II	5	0,75630	0,75961	0,78248
III	4	0,67460	0,95251	0,95251
IV	3	0,00000	0,20124	0,20124
V	5	1,00000	0,78656	1,00000
VI	7	0,78431	0,85105	0,95869
VII	4	0,43084	0,99179	1,00000
VIII	3	0,00000	0,41379	0,41379
IX	3	0,00000	0,26179	0,26179
X	4	0,37767	0,66163	0,66163
XI	3	0,19841	0,57216	0,57216
XII	3	0,56548	1,00000	1,00000
XIII	3	0,93407	0,41674	0,93407
XIV	4	1,00000	0,66877	1,00000
XV	3	0,41005	0,46982	0,47350
XVI	4	0,74074	0,50528	0,79538
XVII	3	0,02381	0,29567	0,29567
XVIII	5	0,68027	0,86399	0,87448
XIX	5	0,71592	0,81374	0,87161
XX	4	0,74074	0,50528	0,79538

IV. RESULTADOS OBTIDOS

Comparando os resultados obtidos na Tabela III, é possível notar como os fatores (*outputs*) influenciam de forma diferente e relevante. Vale lembrar que as notas da CAPES variam de 1(um) a 7 (sete) e as eficiências obtidas pela ferramenta DEA estão dentro do intervalo de 0 (zero) a 1 (um).

A CAPES realiza sua avaliação com o objetivo de certificar a qualidade dos cursos de pós-graduação brasileira e identificar assimetrias regionais e de áreas de conhecimento no Sistema Nacional de Pós-Graduação (SNPG). Dessa forma é possível orientar ações de indução na criação de programas de pós-graduação no território nacional.

Além de apontar a eficiência para cada DMU, o Microsoft Excel retorna valores de *benchmarking*. A Tabela IV apresenta o resultado do *benchmarking* para a Rodada 3. Cada DMU recebe um valor (constante) com a finalidade de melhorar sua eficiência, isso é feito apenas para as DMUs que não atingiram a eficiência máxima. Tais constantes são utilizadas em conjunto a uma DMU que atingiu a eficiência

máxima.

TABELA IV
BENCHMARKING RODADA 3.

CÓDIGO	VALOR	DMU	VALOR	DMU	VALOR	DMU
I						
II	0,107	V	0,125	XII		
III	0,167	XII				
IV	0,146	XII				
V						
VI	0,405	V	0,797	XII	0,043	XIV
VII						
VIII						
IX	0,076	XII				
X	0,838	XII				
XI	0,279	XII				
XII						
XIII						
XIV						
XV	0,018	V	0,328	XII		
XVI	0,132	XII				
XVII	0,274	XII				
XVIII	0,576	XII	0,027	XIV		
XIX	0,922	XII	0,252	XIV		
XX	0,132	XII				

No sentido de compreender melhor a utilização do *benchmarking* foi considerada como exemplo a DMU VI.

Através do *benchmarking* no modelo CRS (Tabela IV) foi feita a alteração dos dados de *input* da DMU IV (Tabela III), resultando na eficiência de 100%. Dessa forma, o novo número de docentes da Universidade/Curso VI foi obtida pela equação 2.

$$\text{Docentes V} * 0,405 + \text{Docentes XII} * 0,797 + \text{Docentes XIV} * 0,043 \quad (2)$$

A eficiência é medida em função dos *inputs*, dessa forma busca-se aumentá-la alterando os dados de entrada, ou seja, minimizar os insumos (*inputs*) para alcançar os mesmos resultados (*outputs*). Nesta situação hipotética, diz-se que a DMU (Universidade/Curso) VI pode alcançar melhores resultados com menor número de docentes (de 17 para 14,336).

REFERÊNCIAS

- [1] A. Z. Milioni; L. B. Alves, “Ten years of research parametric data envelopment analysis”, *Pesquisa Operacional*, v. 33, n. 1, pp. 89-104, 2013.
- [2] E. G. Gomes; J. C. C. Soares de Mello; G. D. S. Souza; L. Ângulo Meza; J. A. D. C. Mangabeira, “Efficiency and sustainability assessment for a group of farms in the Brazilian Amazon”, *Annals of Operations Research*, v. 169, n. 1, pp. 167-181, 2009.
- [3] A. Charnes; W. W. Cooper; E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision-making units”, *European Journal of Operational Research*, v. 2, pp. 429-444, 1978.
- [4] C. R. Peña, “Um Modelo de Avaliação da Eficiência da Administração Pública através do Método Análise Envoltória de Dados (DEA)”, *RAC-Revista de Administração Contemporânea*, v. 12, n. 1, pp. 83-106, 2008.
- [5] CAPES. “Resultado da Avaliação Trienal 2013”. Disponível em: <<http://www.avaliacaotrienal2013.capes.gov.br>>. Acesso em: 12 nov 2014.

Impacto da Incerteza na Seleção de Projetos Considerando Média-Variância

Vanessa Mendes Rennó
Instituto Nacional de Telecomunicações
vanessamendes@get.inatel.br

Mateus de Oliveira Alves
Instituto Nacional de Telecomunicações
mateusalves@get.inatel.br

Guilherme Augusto Barucke Marcondes
Instituto Nacional de Telecomunicações
guilherme@inatel.br

Resumo—Este documento trata sobre a seleção de projetos pelo critério da Média-Variância considerando o impacto da incerteza na escolha de projetos. Foi utilizado o método da simulação de Monte Carlo para se observar com maior clareza a tendência dos resultados de repetidas simulações da variância. Foi apresentado o comportamento dos projetos perante uma alteração dos valores da incerteza.

Palavras-chave—Média, Variância, Média-Variância, incerteza, Monte Carlo.

I. INTRODUÇÃO

Com a rapidez das mudanças exigidas pelo mercado, cada vez mais as empresas precisam cuidar da adequada seleção de seus projetos. A execução de projetos com baixa chance de sucesso pode levar a um “desperdício” de recursos, que poderiam ser melhor empregados na execução de outras atividades.

Desta forma, é de grande importância a utilização de ferramentas adequadas que permitam às empresas avaliar, usando critérios objetivos, as chances de sucesso e, principalmente, facilitem a comparação entre projetos candidatos à execução. Neste sentido, uma das ferramentas mais utilizadas, pela sua objetividade e simplicidade de aplicação, é o critério de seleção pela média-variância, proposto por Markowitz [1].

Em seu trabalho, Markowitz propõe uma comparação entre a média estimada do retorno e sua respectiva variância. A média indica o retorno que o avaliador espera para o projeto e a variância indica a chance deste retorno ocorrer (risco associado à estimativa).

Porém, em diversos trabalhos na literatura [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8] a média e o risco são considerados na seleção dos projetos, mas não é considerada a incerteza sobre os parâmetros estimados. Ou seja, uma vez estimados os valores, eles são tomados como precisos e as análises efetuadas.

Este trabalho propõe uma avaliação do impacto da incerteza na análise de projetos, considerando a seleção pela média variância, proposta por Markowitz [1]. Este método de seleção, apesar das restrições apresentadas em [9] (não poder ser aplicado quando a função utilidade não é quadrática ou quando o retorno não segue uma distribuição de probabilidade normal), é um dos mais populares empregados na seleção de portfólios (como pode ser encarada a seleção de projetos) [10].

O restante deste artigo apresenta como é feita a seleção pelo

critério da Média-Variância, como foi empregada a simulação de Monte Carlo, como são tratados incerteza e risco, a apresentação dos resultados de exemplos numéricos e suas conclusões.

II. SELEÇÃO PELA MÉDIA-VARIÂNCIA

O critério de seleção conforme proposto por Markowitz [1] considera o retorno do projeto, medido pela média das estimativas de retorno, e a correspondente variância, que indica o seu risco.

O cálculo do retorno pode ser feito pela média ponderada do retorno estimado e sua correspondente probabilidade de ocorrência (considerando que a distribuição de probabilidade das estimativas de retorno seja discreta, como é o caso neste trabalho). Assim, a média do retorno pode ser calculada como apresentado na Equação (1):

$$R_p = \sum_{i=1}^N p_i R_i \quad (1)$$

em que R_i é a possibilidade i de retorno esperado para o projeto, p_i é a probabilidade de ocorrência desta possibilidade e N é o total de possibilidades utilizadas.

Neste caso, quanto maior o valor de R_p , maior é o retorno esperado para o projeto P .

Como a média calculada (R_p) na Equação (1) mede a expectativa que o analista tem de retorno para o projeto, pode-se usar a variância para medir o risco do retorno estimado de fato ocorrer. Assim, a variância pode ser calculada por:

$$Var_p = \sum_{i=1}^N p_i [(R_i - R_p)^2] \quad (2)$$

Neste caso, quanto menor o valor de Var_p , menor é o risco esperado para o projeto P .

Desta forma, considerando dois projetos em uma comparação, o Projeto A domina o Projeto B se:

$$R_A \geq R_B \quad (3.a)$$

e

$$\text{Var}_A \leq \text{Var}_B \quad (3.b)$$

de forma que pelo menos uma das duas condições (3.a) e (3.b) deve ser atendida por desigualdade.

O Projeto A dominar o Projeto B significa que, entre estes dois projetos, o Projeto A deve ser selecionado e o Projeto B não.

III. SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O método de simulação de Monte Carlo toma como base a repetição de cálculos a respeito de um determinado problema com amostragens aleatórias de valores. Aumentando o número destas repetições, podem ser obtidos valores para os resultados do problema sob análise. Quanto maior este número de valores, maior seria a confiabilidade dos resultados obtidos.

Como se trata de um método baseado no “sorteio” de números aleatórios, sua técnica é comparada aos resultados obtidos em cassinos. Por conta disto, recebe o nome de Monte Carlo, que é uma referência ao distrito de Monte Carlo, situado na cidade estado de Mônaco, que abriga um luxuoso centro de jogos de azar. Sua primeira aplicação conhecida em trabalhos de pesquisa se deu como ferramenta usada no desenvolvimento da bomba atômica [11].

A aplicação do método de simulação de Monte Carlo pode simplificar a solução de problemas quando a solução analítica não pode ser aplicada, por impossibilidade ou por não ser prática. No primeiro caso, não se consegue conhecer, em toda a sua amplitude, a solução analítica aplicável. No segundo, a solução analítica é conhecida, mas o volume de trabalho gerado na sua solução é tal que inviabiliza a adoção deste caminho.

A simulação de Monte Carlo é uma técnica de experimento e leva a resultados quantitativos [11]. Por ela, com base em distribuição de probabilidade definida, valores de uma ou mais variáveis podem ser amostrados aleatoriamente e o resultado do problema computado, sendo importante a determinação do domínio dos valores a serem utilizados. Repetindo diversas vezes este procedimento, diversos valores para o resultado podem ser obtidos. Com base nestes resultados, pode-se buscar a conclusão sobre o problema sob análise.

IV. INCERTEZA E RISCO

Incerteza e risco são dois conceitos que se relacionam, mas, em geral, são tratados como diferentes. Na definição destes conceitos, Jaafari [12] define incerteza como “a probabilidade da função objetivo não atingir seu valor planejado”, enquanto risco se refere à “exposição a perda/ganho”. Outras definições de risco e incerteza também são encontradas na literatura. Por exemplo, Knight [13], que foi um dos primeiros a considerar tal diferença, refere-se à incerteza como um evento para o qual não se pode especificar alguma probabilidade de ocorrência, enquanto que para o risco a probabilidade de ocorrência pode ser especificada.

Apesar das diferenças entre os vários autores a respeito destes conceitos, em geral, todas as definições tratam incerteza e risco como causa e consequência, respectivamente.

Na realidade, no ambiente de gerenciamento de projetos, o Project Management Institute - PMI [14] define risco como sendo o resultado de (alguma) incerteza enfrentada pelos projetos, que podem gerar oportunidades ou ameaças para os seus resultados. Assim, considerar tais diferenças permite entender a influência da incerteza e do risco no desempenho de um projeto [15].

Neste artigo, o foco é na seleção de projetos. Com base em todas as informações disponíveis a respeito dos projetos, eles devem ser selecionados para que o projeto atinja determinado nível de retorno esperado. Então, a avaliação do risco e da incerteza será feita para observação do quanto estes parâmetros vão interferir no objetivo inicial do projeto e, desta maneira, facilitar ao gerente escolher dentre um conjunto de projetos, aquele que mais se adequa ao cenário que a empresa deseja.

Assim, este artigo considera as definições de incerteza e risco de forma próxima à apresentada em [12]:

- Incerteza: a probabilidade de que os parâmetros do projeto não atingirão seus valores planejados (esperados);
- Risco: a exposição à perda/ganho baseada na Variância dos valores esperados para o retorno.

Uma vez que a análise de seleção de projetos é realizada antes de sua execução, os dados utilizados são dados estimados. Isto leva, naturalmente, a incertezas sobre seus valores, o que é natural em qualquer processo de estimativa [16].

Segundo Atkinson et al. [17], a incerteza na estimativa pode ser provocada por diversos fatores, incluindo, a falta de clareza da especificação do projeto, falta de experiência para executar alguma tarefa e tendências apresentadas pelas pessoas que fazem as estimativas, tipicamente otimistas. Desta forma, é fundamental que a incerteza das estimativas, consideradas como incerteza de seus parâmetros, sejam levadas em conta quando da tomada de decisão sobre projetos a serem executados ou não.

V. EXEMPLOS NUMÉRICOS

Para este artigo, foram utilizados dez projetos hipotéticos, cada um com dois valores de retorno esperado (alto, para o caso de sucesso e baixo, para o caso de fracasso) e respectivas probabilidades (em caso de sucesso ou fracasso) de ocorrência. A avaliação inicial dos projetos recomendados (serem selecionados) é feita pelo critério da média-variação de Markowitz [1] sem considerar a incerteza sobre os parâmetros dos projetos. O resultado desta avaliação serve de base de comparação para avaliação dos resultados das simulações realizadas considerando a incerteza.

Nas simulações considerando a incerteza, sobre os valores dos parâmetros dos projetos, um dado valor de incerteza é considerado. Para avaliar os resultados de seleção dos projetos, foi aplicada a simulação de Monte Carlo. Em cada rodada de simulação, um valor aleatório para cada parâmetro

do projeto foi amostrado (utilizando, neste caso, distribuição de probabilidade uniforme, sem perda da generalidade da avaliação), de acordo com a faixa de valores definida pela incerteza aplicada. Desta forma, a cada rodada, o conjunto de parâmetros foi diferente. Ao final da simulação, foi feita uma análise dos resultados obtidos. Cada simulação foi repetida 2.000 vezes.

Os valores esperados para o retorno de cada projeto e suas respectivas probabilidades são apresentados na Tabela I.

Tabela I – Informações sobre os projetos

Projeto	Retorno alto	Retorno baixo	Prob. Alto
A	8	0	0.6
B	8	-3	0.7
C	6	0	0.8
D	7	-2	0.5
E	5	-2	0.6
F	7	-1	0.5
G	8	0	0.7
H	15	-5	0.6
I	9	0	0.5
J	7	-3	0.9

Considerando os parâmetros sem a aplicação da incerteza e aplicando os critérios de seleção de projetos apresentados em (3.a) e (3.b), os pares de projetos foram comparados. Os projetos que restam como não dominados são os candidatos a serem escolhidos para execução. No caso deste exemplo, os projetos não dominados são C, H e J.

No caso da aplicação da incerteza sobre os parâmetros, a análise foi feita por meio de simulação. Em cada rodada, os projetos não dominados são definidos, conforme critérios apresentados em (3.a) e (3.b). Ao final, baseado no número de vezes em que o projeto não foi dominado, pode-se definir a sua probabilidade de ser um candidato para escolha.

Neste artigo foram utilizadas incertezas de +/-2%, +/-5%, +/-10% e +/-20%. As Tabelas de II a V apresentam os resultados obtidos com a aplicação das incertezas sobre os parâmetros dos projetos.

Tabela II - Resultados com incerteza de +/-2%

Projeto	Nº vezes escolhido	Probabilidade
A	0	0
B	0	0
C	2000	1
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	2	0.0010
H	2000	1
I	0	0
J	2000	1

Tabela III - Resultados com incerteza de +/-5%

Projeto	Nº vezes escolhido	Probabilidade
A	0	0
B	0	0
C	2000	1
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	247	0.1235
H	1979	0.9895
I	0	0
J	2000	1

Tabela IV - Resultados com incerteza de +/-10%

Projeto	Nº vezes escolhido	Probabilidade
A	21	0.0105
B	17	0.0085
C	1998	0.9990
D	0	0
E	0	0
F	0	0
G	548	0.2740
H	1677	0.8385
I	1	0.0005
J	1943	0.9715

Tabela V - Resultados com incerteza de +/-20%

Projeto	Nº vezes escolhido	Probabilidade
A	191	0.0955
B	166	0.0830
C	1952	0.9760
D	0	0
E	14	0.0070
F	0	0
G	837	0.4185
H	1214	0.6070
I	71	0.0355
J	1725	0.8625

Como pode ser observado, ao considerar incerteza de +/-2% e de +/- 5%, não houve grande alteração nos projetos que têm chance de serem escolhidos, apesar de no segundo caso, um projeto antes não incluído (G) passa a ter alguma chance de ser selecionado. A partir da incerteza de +/- 10%, outros projetos adquirem chance de se destacar, enquanto os projetos considerados mais adequados para o cenário (C, H e J) têm suas chances diminuídas à medida que a incerteza aumenta. No cenário de incerteza de +/- 20%, as probabilidades de escolha variam demasiadamente, podendo levar o tomador de decisão a escolher equivocadamente projetos a serem executados. Por exemplo, o projeto H, que na avaliação inicial é um dos escolhidos, considerando a incerteza de +/-20% ele

passa a ter 60,7% de chance de ser escolhido. Da mesma forma, o projeto H, que não faz parte da seleção original, com a incerteza de +/-20% passa a ter 41,85% de chance de ser escolhido.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta o critério da Média-Variância como um método para seleção de projetos por ser simples e intuitivo.

Em diversos artigos na literatura, este critério é utilizado sem considerar incertezas sobre os parâmetros estimados para os projetos, aproximando os resultados de forma ideal, o que não ocorre em situações reais de seleção de projetos. Isso se deve a fatores externos à seleção, como limitação de recursos, incertezas de mercado, prioridades da empresa, dentre outros.

De acordo com os exemplos numéricos apresentados, mediante a aplicação de incerteza sobre os parâmetros dos projetos, observa-se uma clara variação nos resultados esperados. Projetos que inicialmente foram dominados (e portanto não figuravam como candidatos a serem selecionados), a partir de um determinado valor de incerteza considerado, passaram a ter alguma probabilidade de ser dominantes, podendo induzir o tomador de decisão em possível erro de escolha.

A presença de incertezas é inevitável em projetos reais. Principalmente, em suas fases de estudo e de tomada de decisão inicial, uma vez que todas as informações com que se trabalha são estimadas e possuem alguma probabilidade de acerto/erro. Cabe ao tomador de decisão conhecer ao máximo o cenário e o objetivo da empresa para saber analisar melhor os resultados e optar pelo que for melhor para o contexto.

REFERÊNCIAS

- [1] Markowitz, H. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v. 7, n. 1, p. 77–91. 1952.
- [2] J. L. Ringuest, S. B. Graves e R. H. Case. “Mean-Gini analysis in R&D portfolio selection”. *European Journal of Operational Research*, vol. 154, num. 1, p. 157–169. 2004.
- [3] Medaglia, Andrés L., Graves, Samuel B., & Ringuest, Jeffrey L. 2007. A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 179(3), 869–894.
- [4] Graves, Samuel B., & Ringuest, Jeffrey L. 2009. Probabilistic dominance criteria for comparing uncertain alternatives: A tutorial. *Omega*, 37(2), 346–357.
- [5] Gemici-Ozkan, B., Wu, S. D., Linderoth, J. T., & Moore, J. E. 2010. R&D Project portfolio Analysis for the Semiconductor Industry. *Operations Research*, 58(6), 1548–1563.
- [6] Yu, L., Wang, S., Wen, F., & Lai, K. K. 2012. Genetic algorithm-based multi-criteria project portfolio selection. *Annals of Operations Research*, 197(1), 71–86.
- [7] Gutjahr, W. J., & Froeschl, K. A. 2013. Project portfolio selection under uncertainty with outsourcing opportunities. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(1-2), 255–281.
- [8] Hassanzadeh, F., Nemat, H., & Sun, M. 2014. Robust Optimization for interactive programming with imprecise information applied to R&D project portfolio selection. *European Journal of Operational Research*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.023>.
- [9] M. Leshno e H. Levy. “Preferred by ‘All’ and Preferred by Most” Decision Makers: Almost Stochastic Dominance.” *Management Science*, vol. 48, num. 8, p.1074–1085. 2002
- [10] Zopounidis, C., Doumpos, M., & Fabozzi, F. J. 2014. Preface to the Special Issue: 60 years following Harry Markowitz’s contributions in portfolio theory and operations research. *European Journal of Operational Research*, 234(2), 343–345.
- [11] Hammersley, J. M. & Handscomb, D. C. *Monte Carlo Methods*. Fletcher & Son Ltd. Reino Unido, 1964
- [12] Jaafari, A. 2001. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: time for a fundamental shift. *International Journal of Project Management*, vol. 19, nº. 2, p. 89-101.
- [13] Knight, F. H. 1964. Risk, Uncertainty, and Profit. Augustus M. Kelleyhn.
- [14] PMI. 2013. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. 5 ed. edn. Project Management Institute.
- [15] Perminova, O., Gustafsson, M. & Wikström, K. 2008. Defining uncertainty in projects - a new perspective. *International Journal of Project Management*. Vol. 26. Nº. 26. P. 73-79.
- [16] Kitchenham, B. & Linkman, S. 1997. Estimates, Uncertainty, and Risk. *IEEE Software*, vol. 13 nº 3, p. 69–74.
- [17] Atkinson, R., Crawford, L. & Ward, S. 2006. Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management. *International Journal of Project Management*. Vol. 24, nº 8, p. 687-698.

Estudo da Utilização do Gerenciamento de Projetos em Empresas em Desenvolvimento

Robertha Guerra Bastos
Silva

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
roberthaguerra@get.ina

Afonso Celso Soares

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
acs@inatel.br tel.br

Tassiany Domingos Albergaria

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
tassianydomingos@geb.inatel.br

Resumo—Este artigo contém informações sobre o estudo dos métodos de gerenciamento de projetos utilizados em microempresas, empresas de médio e grande porte. O estudo é constituído por entrevistas e análises das respostas obtidas com os gerentes responsáveis pelos projetos das empresas selecionadas. Assim, tornou-se possível levantar o perfil das empresas, identificar as áreas de conhecimento utilizadas nas microempresas e produzir um documento para o desenvolvimento futuro de uma ferramenta de software que possa ser mais adequada ao perfil das mesmas.

Palavras-chave—Gerenciamento de Projetos, PMBOK, Métodos de Gerência.

I. INTRODUÇÃO

Empresas que não utilizam as boas práticas em gerência de projetos, tendem a obter projetos com mais custo, maior tempo especificado no cronograma e uma menor qualidade do que o esperado no resultado final. Porém, outras empresas, por possuírem poucos recursos, possuem um desafio para implantar todos os processos de renome, por serem baseados em grandes organizações, dificultando ainda mais a sua implantação na íntegra [1,2].

Atualmente, as empresas estão investindo em adoção de maturidade em gerência de projetos como uma preocupação estratégica para o sucesso das empresas, já que cada vez mais os projetos tendem a crescer em importância para as organizações [3,4].

O trabalho apresentado neste documento é a síntese da análise de entrevistas feitas a partir de um questionário com microempresas, empresas de médio e grande porte. Estas empresas puderam apresentar sua estrutura física, os documentos e processos de gerência utilizados atualmente e as possíveis melhorias para auxiliar seus trabalhos.

A partir do estudo da maturidade das empresas, o objetivo foi o de desenvolver o escopo de um software mais adequado para utilização neste cenário para que, posteriormente, ele fosse desenvolvido e entregue a algumas empresas entrevistadas para sua validação.

Pode-se observar que empresas com poucos recursos podem se estruturar desenvolvendo competências e atingindo maior

maturidade na gestão de seus projetos a fim de reduzir imprecisões nos desenvolvimentos.

II. METODOLOGIA

O presente estudo visa avaliar os métodos de gerência de projetos utilizados nas empresas a fim de detectar os mais eficazes para desenvolvimento futuro de um software e analisar o perfil das empresas selecionadas. Para isto, no total de 150 empresas com sedes principais em Santa Rita do Sapucaí, foram selecionadas doze utilizando um percentual de 8% como amostra e foi acrescentada também uma grande empresa localizada em São José dos Campos.

Por se tratar de uma pesquisa cujos nomes das companhias são confidenciais, tornou-se necessário separá-las em microempresas, empresas de pequeno, médio ou grande porte. Apresenta-se na Tabela 1 a classificação adotada pelo BNDES.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DE EMPRESAS DE ACORDO COM O BNDES [5].

Classificação	Receita operacional bruta anual
Microempresa	Menor ou igual a R\$2,4 milhões
Pequena empresa	Maior que R\$2,4 milhões e menor ou igual a R\$16 milhões
Média empresa	Maior que R\$16 milhões e menor ou igual a R\$90 milhões
Média-grande empresa	Maior que R\$90 milhões e menor ou igual a R\$300 milhões
Grande empresa	Maior que 300 milhões

A partir destes dados, percebeu-se que no trabalho desenvolvido foram entrevistadas cinco microempresas, seis empresas de médio porte e duas grandes empresas. Apresenta-se na Figura 1 o gráfico com a porcentagem das empresas entrevistadas.

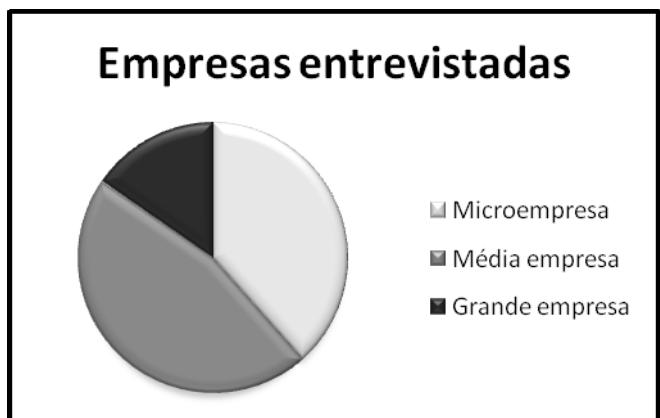


Figura 1. Gráfico das empresas entrevistadas.

Em seguida, realizou-se o agendamento de entrevistas com os gestores de cada empresa, para que os mesmos respondessem a um questionário com as perguntas importantes para o desenvolvimento do estudo. Após a finalização das entrevistas gerou-se um documento com a síntese das respostas obtidas. Com isto, tornou-se possível concluir os requisitos de software para o desenvolvimento futuro de uma ferramenta mais adequada para a gestão dos projetos dessas empresas.

III. DESENVOLVIMENTO

A. Questionário

Inicialmente foi desenvolvido um questionário, com o intuito de retirar as informações necessárias com o gerente responsável pela área de projetos de cada empresa contatada. Apresenta-se na Figura 2 o questionário utilizado nas entrevistas.

Questionário	
1.	É mais utilizado na empresa o Gerenciamento de projetos seguindo todas as práticas do PMBOK ou as metodologias Ágeis?
2.	Quantos projetos a empresa possui em andamento e quantos produtos ou serviços finais serão gerados de cada um deles?
3.	A empresa utiliza a gestão de Portfólio?
4.	A empresa utiliza o PMO para centralizar as informações dos projetos?
5.	Quais processos do PMBOK são implantados no gerenciamento dos projetos ¹ ?
6.	Como é feito o gerenciamento de projetos na empresa?
7.	Como é escolhido cada Gerente de Projetos?
8.	Quantos Gerentes de Projeto a empresa possui?
9.	Como são escolhidos os integrantes da equipe de cada projeto?
10.	O que é utilizado para integrar e motivar as equipes do projeto?
11.	Quais influências culturais dos funcionários afetam o gerenciamento?
12.	Ocorrem projetos remotos?
13.	Como as informações recebidas para gerenciar os projetos são analisadas?
14.	Qual a estrutura organizacional da empresa; funcional, matricial ou projetizada?
15.	Qual ferramenta é utilizada para gerenciar o projeto?
16.	O que você mudaria na ferramenta de gerenciamento de projetos utilizada atualmente na empresa?
17.	Como é feito o controle e monitoramento do projeto?
18.	Ao começar a gerenciar os projetos da empresa, os resultados foram positivos? Quais modificações foram notadas?
19.	O que é indispensável em um software de gerenciamento?

Figura 2. Questionário para entrevista.

B. Entrevistas

A realização das entrevistas ocorreu de acordo com a disponibilidade dos gerentes das empresas selecionadas. Para facilitar o preenchimento do questionário, os entrevistados concordaram com a gravação da entrevista, sendo que estas foram armazenadas junto aos arquivos gerados pelas responsáveis por este estudo.

C. Resultados

Após a finalização das entrevistas, gerou-se uma tabela para comparação das áreas do PMBOK utilizadas nas empresas selecionadas. O PMBOK é um guia de conhecimento em gerenciamento de projetos, o qual é a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para execução de projetos de forma efetiva e eficaz [6]. Com estes dados, pôde-se perceber que microempresas adotam pouco as áreas de conhecimentos do PMBOK (gerenciamento de escopo, integração, tempo, custo, qualidade, recursos humanos, comunicação, riscos e aquisições¹), utilizando as áreas mescladas ao gerenciamento a partir de metodologias ágeis. Porém, empresas de médio e grande porte adotam todas as áreas de conhecimento do PMBOK. Analisando as informações contidas em todos os questionários é perceptível que as empresas em desenvolvimento, por não possuírem tantos recursos e geralmente o próprio sócio ou o responsável pelo desenvolvimento gerenciarem os projetos, ficam mais concentradas em fazer a gestão de projetos baseada em escopo, tempo e custo. Nas Figuras 3, 4 e 5 é possível visualizar o mapeamento do uso das áreas de conhecimento das empresas de acordo com o seu porte.

Mapeamento das áreas de conhecimento					
Microempresas					
	Não usa	Usa muito pouco	Usa pouco	Usa razoavelmente	Usa muito
Gerenciamento do escopo		x			
Gerenciamento de integração		x			
Gerenciamento de tempo			x		
Gerenciamento de custo		x			
Gerenciamento da qualidade		x			
Gerenciamento de recursos humanos		x			
Gerenciamento da comunicação		x			
Gerenciamento de riscos		x			
Gerenciamento de aquisições		x			

Figura 3. Mapeamento das áreas de conhecimento – microempresas.

Entre as microempresas entrevistadas, 40% não utilizam o gerenciamento de tempo e 20% usam muito pouco, enquanto que 20% usam razoavelmente e 20% se preocupam muito com esta área. Além disso, 60% destas empresas não utilizam o gerenciamento de escopo, custo, aquisições e da qualidade e o

¹ Neste estudo não foi incluída a área de conhecimento de gerência de stakeholders.

restante se preocupa razoavelmente ou muito com as áreas mencionadas.

Mapeamento das áreas de conhecimento					
Empresas de médio porte					
	Não usa	Usa muito pouco	Usa pouco	Usa razoavelmente	Usa muito
Gerenciamento do escopo				x	
Gerenciamento de integração				x	
Gerenciamento de tempo				x	
Gerenciamento de custo				x	x
Gerenciamento da qualidade				x	
Gerenciamento de recursos humanos				x	
Gerenciamento da comunicação				x	
Gerenciamento de riscos				x	
Gerenciamento de aquisições					x

Figura 4. Mapeamento das áreas de conhecimento – empresas de médio porte.

Nas empresas de médio porte 66% usam muito, 17% usam razoavelmente e 17% usam pouco o gerenciamento de escopo e tempo. A gestão da qualidade é muito usada em 100% das empresas e 83% utilizam muito a gerência de aquisições.

Mapeamento das áreas de conhecimento					
Empresas de grande porte					
	Não usa	Usa muito pouco	Usa pouco	Usa razoavelmente	Usa muito
Gerenciamento do escopo					x
Gerenciamento de integração					x
Gerenciamento de tempo				x	
Gerenciamento de custo				x	
Gerenciamento da qualidade					x
Gerenciamento de recursos humanos					x
Gerenciamento da comunicação					x
Gerenciamento de riscos					x
Gerenciamento de aquisições					x

Figura 5. Mapeamento das áreas de conhecimento – empresas de grande porte.

Entre as grandes empresas entrevistadas, 100% utilizam muito o gerenciamento da qualidade, recursos humanos, comunicação e aquisições. As gerências de custo e tempo são muito utilizadas em 50% das empresas, enquanto que 50% usam pouco. Além disso, os gerenciamentos de riscos, escopo e integração são muito utilizados em 50% das empresas, enquanto que as outras 50% usam razoavelmente.

A compilação dos resultados pode ser obtida mediante a solicitação aos autores.

D. Requisitos do software

De acordo com a análise das entrevistas, pôde-se perceber que empresas de porte médio utilizam predominantemente as práticas do PMBOK adaptadas as necessidades da empresa enquanto as de pequeno porte usam as metodologias ágeis. Além disso, pôde-se notar que as empresas precisam de uma ferramenta onde o colaborador consiga ter acesso as atividades que deve desenvolver em um determinado período (diariamente ou semanalmente). Isto permitirá que o mesmo possa atualizá-la de acordo com a finalização de cada etapa. Assim, com a atualização das informações feitas pelo funcionário, o gerente do projeto, ao entrar no sistema com o seu cadastro, conseguirá visualizar as atividades que já foram concluídas e aquelas que precisam ser finalizadas. Além disso, ele poderá atualizar as atividades do projeto sem precisar ir até o colaborador, já que este terá acesso a todas as informações necessárias em seu computador. Os requisitos deste software podem ser obtidos mediante a solicitação aos autores.

IV. CONCLUSÕES

Microempresas utilizam mais a gerência de tempo, devido às restrições que possuem. As médias empresas seguem muito a gestão da qualidade, aquisições, escopo e tempo, por possuírem mais recursos dentro da organização. Já as grandes empresas utilizam de todas as áreas de conhecimento, por terem se estruturado no mercado e conseguirem dessa maneira conciliar vários projetos ao mesmo tempo.

De acordo com os resultados obtidos neste artigo, foi possível entender a rotina, verificar as necessidades e a maturidade em gerência de projetos de cada empresa. Observou-se que atualmente não é possível para as médias e pequenas empresas utilizarem todos os recursos disponíveis na gerência de projetos, necessitando assim de uma ferramenta concentrada em tempo, escopo e custo. O gerenciamento baseado nessas áreas já traria muitos benefícios às empresas, evitando alterações de projeto durante o seu ciclo de desenvolvimento, atrasos nos prazos de entrega e aumento do custo devido a mudanças não visualizados por falta de planejamento.

Durante as entrevistas o maior impedimento foi encontrar horários compatíveis com os gerentes das empresas. Devido a isso algumas empresas selecionadas foram substituídas por outras de maior facilidade de agendamento.

Como proposta de trabalho futuro propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta de software, a partir de alguns requisitos que podem ser obtidos com as autoras do estudo e uma apresentação dos benefícios que o uso da ferramenta e das áreas negligenciadas podem trazer. Além disso, pode-se aumentar o número de empresas na amostra, aumentando-se com isso seu conjunto de dados para desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] Garcia, L. A. C.; Soares, A. C.; Proposta de processo baseado em Scrum e Kanban para uma empresa de telecomunicações. Incitel 2012, Santa Rita do Sapucaí, MG.
- [2] Barros, M. O.; Werner, C. M. L.; Travassos, G. H.; Gerenciamento de Projetos baseado em cenários: uma abordagem de modelagem dinâmica e simulação. I Simpósio Brasileiro de Qualidade de Software, Rio de Janeiro, dez./2001.

- [3] Pêssoa, M. S. P.; Júnior, R. R.; Um modelo estruturado de competências e maturidade em gerenciamento de projetos. *RevistaProdução*, v. 15, nº 1, p. 034-043, jan./abr. 2005.
- [4] Patah, L. A.; Carvalho, M. M.; *Measuring the Value of Project Management*. Polytechnic School of the University of São Paulo, Department of Industrial Engineering, São Paulo, 2007.
- [5] BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Brasília: BNDES. Porte de empresas. Disponível em: <http://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/bnDES/bnDES_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/porte.html>. Acesso em 28 de nov. 2014.
- [6] PMI – Project Management Institute. Sobre o PMI. Disponível em: <<https://brasil.pmi.org/brazil/AboutUS/WhatisPMI.aspx>>. Acesso em 02 de fev. 2015.

Plataforma Didática para ensino de Estruturas de Dados Multidimensionais

Bruno Porto Masquio
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
brunomasquio@gmail.com

Paulo Eustáquio Duarte Pinto
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
pauloedp@ime.uerj.br

Resumo – O objetivo deste projeto é desenvolver, em uma única plataforma livre, um ambiente didático para estudo das estruturas de dados multidimensionais, utilizadas em Sistemas de Informações Geográficas. A sua infraestrutura se baseia na linguagem de programação C++, softwares livres para modelagem geométrica e visual, constantes das ferramentas Qt creator, Graphviz e DOT. A interface do programa permite a visualização gráfica dos dados, os passos para a execução dos algoritmos relacionados às estruturas de maneira clara e didática. Além disso, serão feitos testes nas diferentes estruturas a fim de compará-las em termos de desempenho. Acredita-se que, com esse projeto, será mais fácil e mais rápido o estudo dessas estruturas de dados, pela visualização possibilitada pelo ambiente.

Palavras chave – Estruturas de dados multidimensionais, árvores

I. INTRODUÇÃO

O tratamento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)[1] só recentemente vem recebendo maior atenção, pois necessita de estruturas de dados de alta complexidade e relativamente pouco estudadas e conhecidas. Dentre elas, existem as estruturas multidimensionais, que têm como objetivo principal a interação com dados espaciais como, por exemplo, mapas com coordenadas.

Na plataforma desenvolvida, são usadas as estruturas de dados multidimensionais propostas por Hanan Samet[2]. Pode-se citar, como exemplos, as estruturas KD-Tree, Point Quadtree, PR Quadtree, Range Tree, MX Quadtree, descritas adiante.

A ideia que norteou a criação da ferramenta deste trabalho foi a de apresentar, de forma didática, essas estruturas. Isso permite, em especial, que alunos pudessem visualizá-las de duas formas básicas: através de sua representação espacial e de sua representação interna. Essa última característica constitui um ponto forte deste trabalho, pois não foi encontrada em nenhuma das ferramentas pesquisadas.

II. DESCRIÇÃO DAS ESTRUTURAS DE DADOS MULTIDIMENSIONAIS JÁ IMPLEMENTADAS

A. KD-Tree

A KD-Tree é uma árvore binária com k dimensões. Cada nó não folha pode ser pensado como um hiperplano que divide implicitamente o espaço em duas partes, conhecidas como half-spaces. A direção do hiperplano é escolhida da seguinte maneira: cada nó da árvore está associado com uma das k dimensões, com o hiperplano perpendicular ao eixo dessa dimensão. Assim, por exemplo, se para um determinado

grupo o eixo "x" é escolhido, todos os pontos da subárvore com um valor menor de "x" do que o nó aparecem na subárvore esquerda e todos os pontos com maior "x" valor será na subárvore direita. Em tal caso, o hiperplano seria definido pelo valor x do ponto, e a sua normal seria o eixo-x.

As Figuras 1 e 2 mostram uma árvore criada, bem como a divisão espacial, para o seguinte conjunto de pontos: A(40,45), B(15,70), C(70,10), D(69,50), E(66,85) e F(85,90).

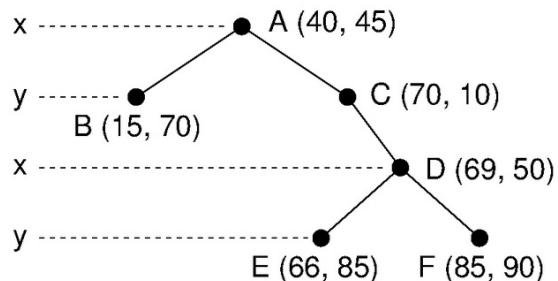


Fig 1. Hierarquia de nós da KD-Tree especificada

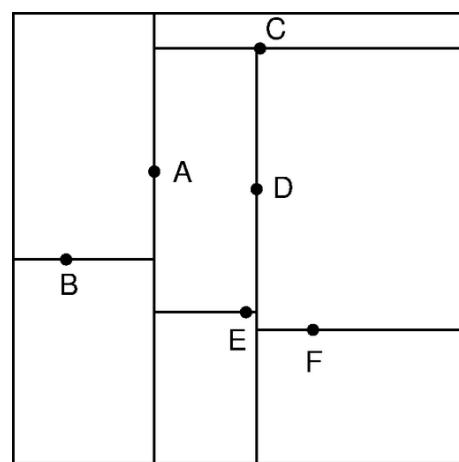


Fig 2. Divisão espacial da KD-Tree especificada

B. Range Tree

A Range Tree é uma extensão de uma árvore binária de busca, considerando cada uma das dimensões desejadas. Os nós folha representam os elementos e são duplamente encadeados enquanto os nós intermediários contêm o valor médio entre suas subárvores na dimensão usada. Cada nó intermediário possui uma subárvore associada para cada outra dimensão. Ela possui os mesmos nós folhas(elementos), porém seus nós intermediários guardam valores médios referentes às outras dimensões.

Essa estrutura de dados é muito eficiente para buscas, porém necessita de muita memória.

A Figura 3 ilustra uma Range Tree unidimensional para os pontos 6, 15, 17, 21, 24, 33 e 42. A Figura 4 ilustra, simplificadamente uma Range Tree bidimensional, onde os nós maiores representam a árvore da primeira dimensão e os nós menores, os da segunda.

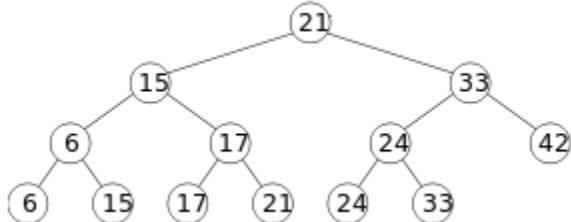


Fig 3. Exemplo de Range Tree de uma dimensão

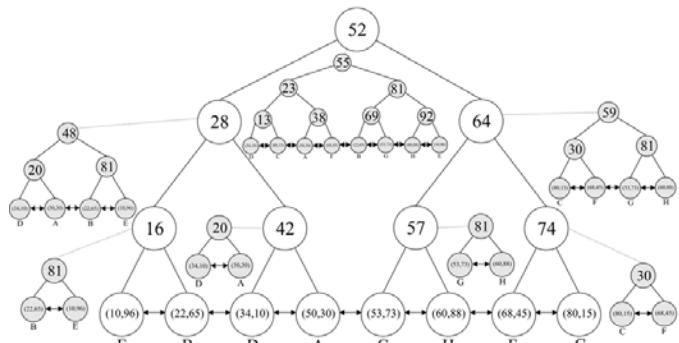


Fig 4. Exemplo de Range Tree de duas dimensões

C. Quadtrees

Quadtrees são árvores onde cada nó pai divide a área (ou subárea) definida por seus ascendentes em quatro quadrantes – situados respectivamente a nordeste, sudeste, noroeste e sudoeste das coordenadas 2D deste nó. Por outro lado, nós-folha não indicam subdivisão do espaço, havendo a garantia de que se um nó não teve seus quadrantes subdivididos seus filhos são nós-folha ou nulos. Há várias maneiras de implementar Quadtrees. Mostraremos duas delas.

C.1. Point Quadtree

Nesta estrutura há, no máximo, um ponto por quadrante. A cada inserção de um nó, se o quadrante não dividido em que o nó inserido estiver localizado já contiver algum ponto o mesmo é desmembrado. Os quatro novos quadrantes são definidos a partir das coordenadas do ponto já anteriormente contido, como pode ser visto nas Figuras 5 e 6.

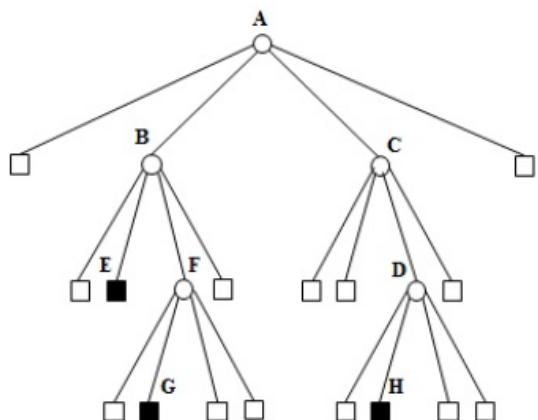


Fig 5. Exemplo de Point Quadtree (hierarquia de nós)

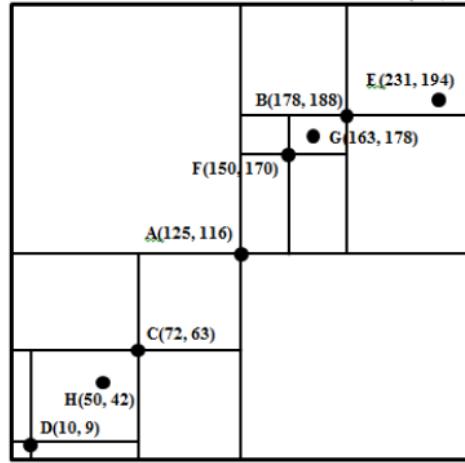


Fig 6. Exemplo de Point Quadtree (divisão espacial)

C.2. PR Quadtree

A PR Quadtree é estruturada analoga à Point Quadtree, com a ressalva de que o particionamento de quadrantes é feito de forma homogênea. Nessa estrutura, os elementos são guardados a princípio nos nós folha e os nós intermediários podem ser pensados como uma divisão simétrica do espaço em quatro quadrantes.

Apesar de ser mais estável que a Point Quadtree, pois sua construção não depende da ordem de inserção, a PR Quadtree pode não ser ideal para dados cujos nós são muito próximos, pois isso gera uma quantidade grande de nós intermediários, prejudicando tanto o desempenho em buscas quanto a quantidade de memória que é necessária.

As Figuras 7 e 8 ilustram, respectivamente, a estrutura de dados e a divisão do espaço para 5 pontos.

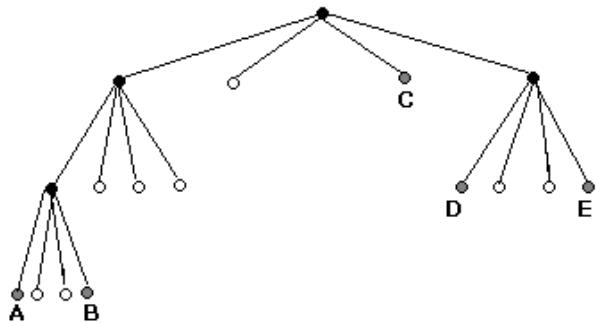


Fig 7. Exemplo de PR Quadtree (hierarquia de nós)

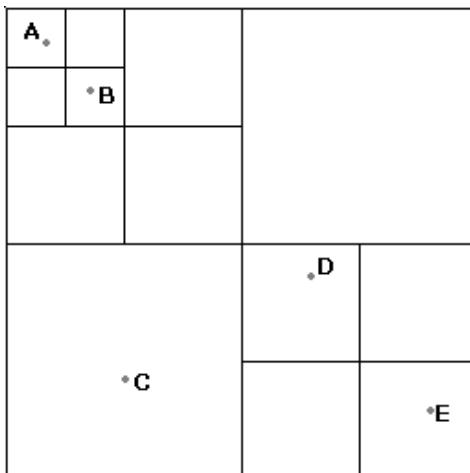


Fig 8. Exemplo de PR Quadtree (divisão espacial)

III. INFRAESTRUTURA DO SOFTWARE

Para o desenvolvimento do software de interface utilizado para representar graficamente a estrutura de dados multidimensionais, foi escolhida a linguagem de programação C++ devido ao seu potencial em manipular ponteiros, gerenciar memória e suportar programação orientada a objetos. Foi utilizado o framework multiplataforma Qt que suporta código em C++ e fornece uma grande quantidade de bibliotecas para implementar softwares com interface gráfica. Para representar os nós de forma hierárquica, foi utilizada a biblioteca para gerar grafos Graphviz, cujos gráficos a serem gerados foram codificados utilizando a linguagem de descrição de grafos DOT.

A. Linguagem DOT

DOT é uma linguagem de criação de grafos. Ela é codificada por um texto simples de uma forma que tanto nós quanto as máquinas são interpretados facilmente.

A sua sintaxe permite que se edite diversas características do grafo, como direcionamento de arestas, hierarquia dos vértices para visualização, uso de cores, legendas tanto para arestas quanto para vértices.

Essa linguagem é muito versátil e pode ser usada em qualquer aplicação que deseja se trabalhar com visualização de grafos. Em nossa plataforma, utilizamos o Graphviz para interpretação e geração de imagens.

As Figuras 9 e 10 ilustram grafos com características que podem ser implementadas através do DOT.

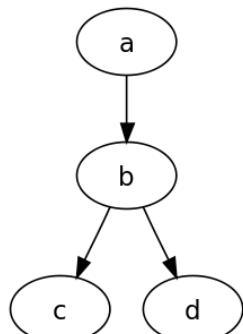


Fig 9. Exemplo 1 de grafo com o DOT

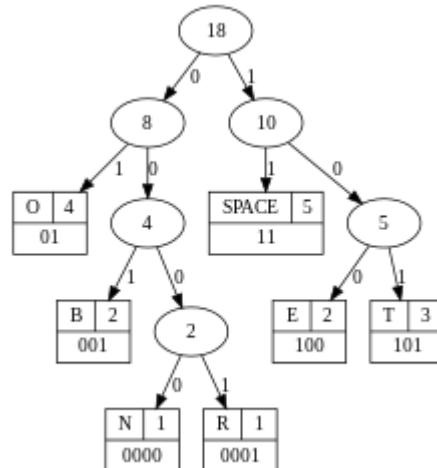


Fig 10. Exemplo 2 de grafo com o DOT

B. Graphviz

O nome Graphviz vem da abreviação de Graph Visualization Software (Software de Visualização de Grafos). É um pacote de ferramentas, de código aberto, desenvolvido nos laboratórios de pesquisa da AT&T para desenhar grafos especificados na linguagem DOT. O Graphviz possui algoritmos capazes de calcular automaticamente o melhor posicionamento dos nós e arestas de um grafo em uma imagem.

O formato da imagem é especificado pelo programador dentre uma variedade suportada bem grande, como jpg, png, jpeg, bpm, psd, pdf, gif dentre outros.

C. QT

Qt é um framework multiplataforma que permite compilar aplicações para Windows, Mac, Linux ou outros sistemas Unix. Suporta código em C++, possui código aberto, desenvolvido pela empresa norueguesa Trolltech (posteriormente adquirida pela Nokia). O Qt fornece uma grande quantidade de bibliotecas para implementar softwares com interface gráfica. Um exemplo de grande sucesso da utilização do Qt é o projeto KDE.

Para exibir os gráficos do resultado do particionamento do espaço e da representação hierárquica dos nós no software de interface, foram utilizadas algumas classes do Qt. As mais relevantes são: QGraphicsView, QGraphicsScene, QGraphicsItem, QByteArray e QPixmap.

Para gerar o gráfico do resultado do particionamento do espaço, foram inseridos objetos da classe QGraphicsItem (QGraphicsRectItem para representar pontos e QGraphicsLineItem para representar linhas de particionamento) em um QGraphicsScene, e posteriormente este QGraphicsScene é exibido em um QGraphicsView.

Para gerar o gráfico da representação hierárquica dos nós, é obtido um array de char contendo a imagem renderizada pelo Graphviz, convertido em um QByteArray e depois gerado um pixmap em um QPixmap. O QPixmap gerado é inserido em um QGraphicsScene, e posteriormente este QGraphicsScene é exibido em um QGraphicsView.

IV. FERRAMENTA DESENVOLVIDA

A. Interface

A.1 Tela inicial

A tela inicial do software consiste em uma janela que, além de caracterizar o projeto, possibilita selecionar, de uma lista de estruturas disponíveis, aquela que será visualizada. A Figura 11 ilustra a atual tela inicial do programa.



Fig 11. Tela inicial do software

A.2. Tela inicial para cada estrutura de dados

Após escolhida a estrutura, estarão disponíveis um menu e três janelas (funções, particionamento do espaço e hierarquia dos nós) usadas para as operações e opções de visualização das estruturas de dados, conforme a Figura 12.

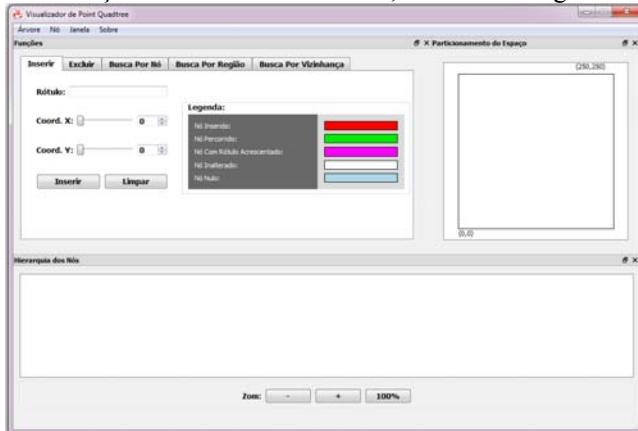


Fig 12. Tela inicial para cada estrutura de dados

A.3. Janelas desencaixáveis

Cada uma das três janelas (funções, particionamento do espaço e hierarquia dos nós) foi desenvolvida usando a classe QDockWidget do Qt, que permite o encaixe dentro da janela principal ou a flutuação de cada uma das janelas em um nível superior na área de trabalho. Cada QDockWidget consiste de uma barra de título e a área de conteúdo. Na barra de título cada janela foi rotulada e foram habilitados botões para desencaixar e fechamento das janelas. Cada área de

conteúdo foi utilizada para a criação das janelas de Funções, Particionamento do Espaço e Hierarquia dos Nós.

É importante ressaltar que as janelas que podem ser desencaixadas podem ser ampliadas ou reduzidas, conforme for a melhor visualização para o usuário.

A Figura 13 ilustra as janelas que podem ser desencaixadas e expandidas.

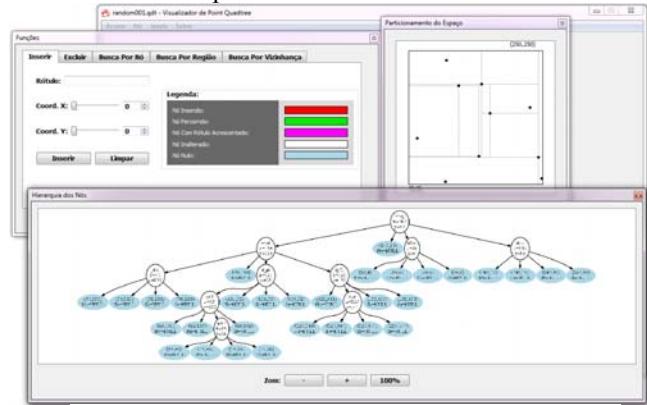


Fig 13. Janelas de funções, particionamento e hierarquia dos nós desencaixáveis.

B. Principais funcionalidades

O software possui diversas funcionalidades para manipulação dos dados e para buscas nas estruturas de dados. Durante esses processos, é possível visualizar graficamente através de cores a sequência de passos do algoritmo utilizado.

Nas buscas, os nós encontrados são exibidos na caixa de texto “Resultado” encontrada na aba “Funções” conforme a Figura 14, ou é exibida uma mensagem informativa se não houver um nó nas coordenadas correspondentes.

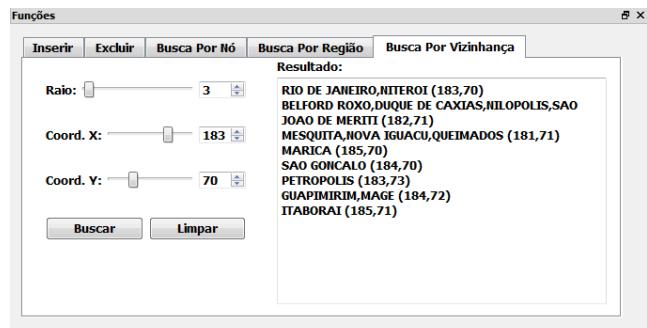


Fig 14. Aba funções exibindo os resultados de uma busca por vizinhança

B.1. Busca por nó

A busca por nó verifica a existência de um nó em coordenadas que foram informadas pelo usuário.

A Figura 15 ilustra uma busca por nó em uma PR Quadtree.

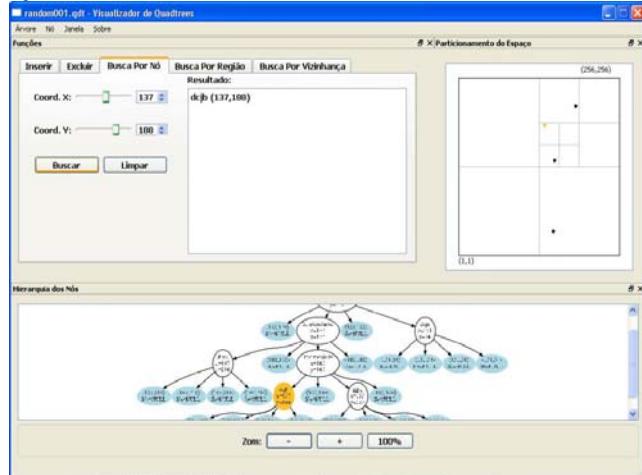


Fig 15. Busca por nó no software

B.2. Busca por região

A busca por região define um retângulo no espaço de particionamento e busca por pontos nessa região.

A Figura 16 ilustra uma busca por região em uma PR Quadtree.

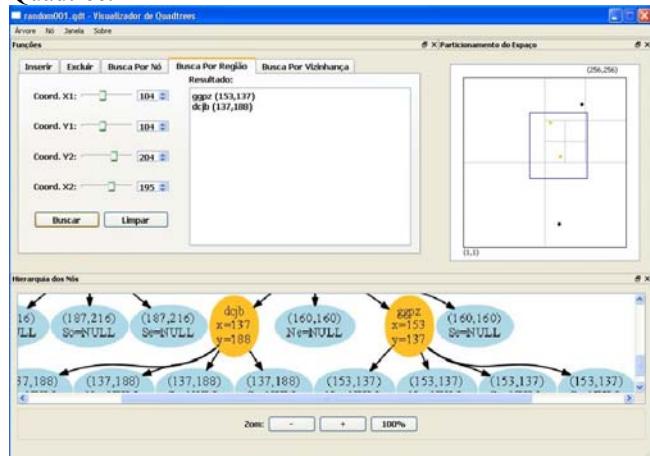


Fig 16. Busca por região no software

B.3. Busca por vizinhança

A busca por vizinhança realiza a pesquisa em um círculo definido por um ponto (centro da busca) e um raio que define a vizinhança a ser verificada.

A Figura 17 ilustra uma busca por vizinhança em uma Point Quadtree.

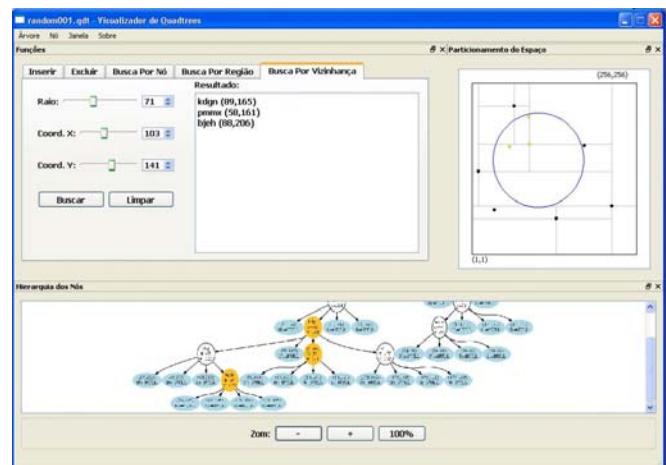


Fig 17. Busca por vizinhança no software

B.4. Geração randômica de dados

É possível criar uma árvore a partir de coordenadas geradas randomicamente. Para isso, é solicitado o número de nós ao usuário.

Essa função se encontra no menu “Árvore” e gera um arquivo com a árvore criada.

A Figura 18 ilustra a criação de uma Point Quadtree através de coordenadas randomicamente geradas e a janela para entrada da quantidade de nós.

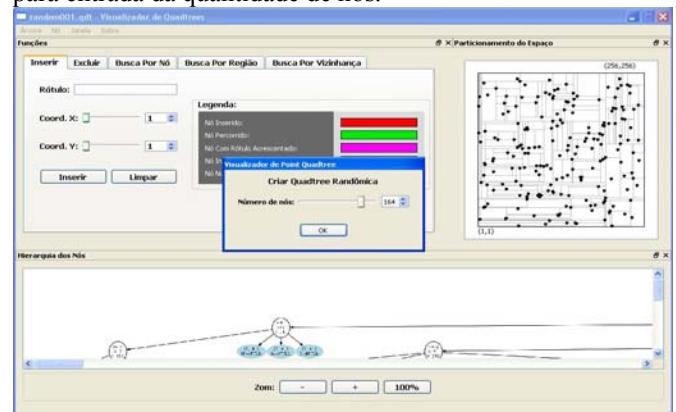


Fig 18. Geração de árvore randômica no software

B.5. Salvar e carregar arquivos

A manipulação dos dados por arquivos permite salvar uma árvore ou carregá-la a partir de um arquivo em memória secundária, podendo ele estar em coordenadas cartesianas conforme limites definidos pelo software ou em coordenadas UTM[3] conforme limites definidos pelos fusos e zonas do território brasileiro e verificados no momento em que um arquivo é carregado.

A Figura 19 ilustra uma busca feita em uma Point Quadtree que foi construída a partir de um arquivo em coordenadas UTM de todos os municípios do Brasil..

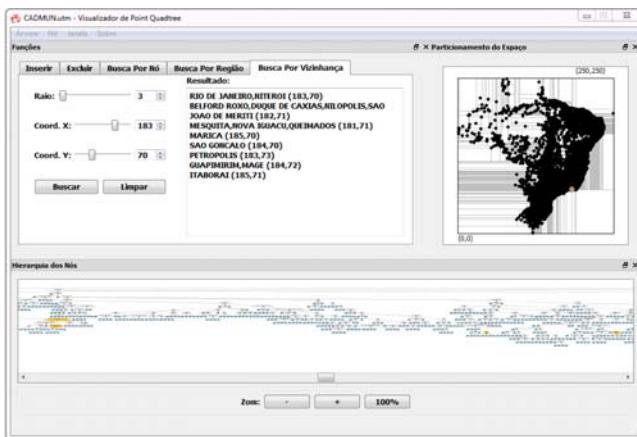


Fig 19. Busca em árvore carregada a partir de arquivo com coordenadas UTM dos municípios do Brasil.

V. CONCLUSÕES

Até o momento, o projeto em desenvolvimento já permite o estudo de quatro estruturas de dados para SIG, estando disponível para uso em disciplinas da graduação e mestrado no IME/UERJ.

Embora só tenhamos avaliações qualitativas desse ambiente, ele parece ser bastante adequado à proposta inicial. Ressaltamos novamente, a característica única que possui de permitir a visualização interna das estruturas de dados, bem como ilustrar o efeito de muitas operações nessas estruturas.

No presente ano deveremos ampliar o leque de estruturas contempladas, bem como iniciar uma fase de comparação de desempenho dessas estruturas.

Após essa fase, pretendemos disponibilizar o ambiente como software livre.

REFERÊNCIAS

- [1] Sistemas de Informações Geográficas. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informação_geográfica - Visitado em 02/02/2015.
- [2] Samet, Hanan - Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures. 1st edition. Local de publicação: San Francisco, CA. Morgan Kaufmann, 2006
- [3] Universal Transversa de Mercator. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Universal_Transversa_de_Mercator - Visitado em 02/02/2015.
- [4] Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Hiperplano> - Visitado em 02/02/2015.

Previsão Probabilística da Incidência de Chuva Utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs) em Sistemas de Monitoramento Ambiental

Elias Francisco Sabat
Júnior

Matheus Campos
Senra

Jardam Samuel Silva
Guedes

Wellington Viana
Lobato Júnior

Sther Alves

Instituto de Estudos
Superiores da
Amazônia - Iesam
eliasjr11@gmail.com

Instituto de Estudos
Superiores da
Amazônia - Iesam
matheuscampossenra@
gmail.com

Instituto de Estudos
Superiores da
Amazônia - Iesam
Jardam.samuel@gmail.
com

Instituto de Estudos
Superiores da
Amazônia - Iesam
wevilojun@hotmail.
.com

Instituto de Estudos
Superiores da
Amazônia – Iesam
stheralves@gmail.com

Resumo—Este trabalho apresenta de maneira introdutória um modelo computacional de análises probabilísticas sobre a incidência de chuvas utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs) com base em dados coletados a partir de um sistema de circuitos integrados conectados a sensores de dados climáticos. As modelagens foram feitas a partir RNAs Perceptron Multi-Camada (Multi-Layer Perceptron - MLP) com treinamento de retro-propagação do erro (Backpropagation).

Palavras-Chaves—Previsão, Redes Neurais, Chuva, Monitoramento Ambiental.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de dados ambientais vêm se tornando cada vez mais fundamentais para a sociedade, assim como a sua gerência, o monitoramento sobre o clima é feito através das coletas de dados, estudos e acompanhamentos sistemáticos das variáveis ambientais, tais como: temperatura, umidade, poluição do ar, incidência de raios ultravioleta.

A fim de melhorar a vida da sociedade, estudos sobre a incidência de chuvas são aplicados em problemas de impactos ambientais e suas inter-relações com as atividades humanas uma vez que os índices de precipitação influenciam diretamente na coletividade, nas atividades agrícolas, por exemplo, que são elementos importantes no panorama econômico do país. A questão do clima/chuva tem grande influência sobre os vários setores do mercado que sofrem alterações à medida que o clima se modifica, um exemplo é o setor energético no que tange a criação de biocombustíveis e os recursos hidroelétricos.

A previsão da incidência da chuva pode ser considerada uma tarefa complexa, pois as variáveis consideradas no problema possuem um alto grau de não linearidade, dificultando a previsão, porém, com o uso de RNAs - Redes Neurais Artificiais - que são modelos matemáticos que têm como base utilizar o mesmo método de aprendizagem do cérebro humano, um de seus objetivos é auxiliarem na resolução de problemas complexos nas mais diversas aplicações, neste projeto se dá na forma probabilística da incidência ou não de chuvas.

As sessões que seguem nesse artigo abordam Trabalhos Correlatos, Seção 2, que abordam os trabalhos que serviram de base para esta pesquisa, Na Seção 3, estão descritas as

Propostas, Desenvolvimento Seção 4, está descrita a metodologia de produção, Resultados e Conclusões estão apresentados na Seção 5, e Referências.

II. TRABALHOS CORRELATOS

[Maeda 2011] utilizou “*Redes Neurais Artificiais para a Previsão de Precipitação Pluviométrica na Região de Campos Mourão com Base em Variáveis Meteorológicas*”; onde apesar de o algoritmo ter mostrado uma capacidade de previsão de 71% o mesmo julga que o caso ideal é que esse seja superior a 80%, concluindo que um sistema de probabilidade essa taxa de acerto não é recomendável. Entretanto, este trabalho é focado apenas no desenvolvimento da rede e não de um sistema completo com coletas e tratamento dos dados como é o caso deste trabalho.

[Teixeira, João V. S. 2012] desenvolveu uma pesquisa sobre a “*Previsão do Índice da Bolsa de Valores do Estado de São Paulo Utilizando Redes Neurais Artificiais*”, cujo objetivo foi mostrar como a rede neural se comporta e se adapta ao cenário específico de pesquisa.

[Ariane Santos, João Zell e Paulo Krebs 2002] fizeram um “*Estudo Preliminar da Utilização de Redes Neurais na Previsão de Temperatura Média Diária para a Cidade de Pelotas-RS*”, Onde mais uma vez foi mostrada a eficiência da rede em reconhecimento e previsões de padrões, porém os mesmos encontraram empecilhos no que diz respeito ao treinamento da mesma, conclui que se faz necessário um maior ajuste ao erro e de um acervo de dados bem conciso, todavia o emprego desse trabalho foi de grande valia para esta produção, pois se pode ver onde houve falhas para então contorná-las, no que diz respeito ao número de iterações e taxa de erro para buscar a maior precisão dos resultados.

[Armando Junior e José Moreira 2011] com “*O uso de uma Rede de Sensores Sem Fio para o Monitoramento de Dados Ambientais*”, mostram a possibilidade da criação e desenvolvimento de sistemas que empregam *hardware* e *software* livres com a finalidade de baratear o processo de monitoramento ambiental, porém os mesmos não sugerem

uma plataforma específica para o *software* que neste emprego se deu através da programação em *python* tanto para a rede quanto para os demais programas, como foi o caso do *software* de coleta dos dados.

III. PROPOSTA

Fenômenos físicos associados ao estado termodinâmico da atmosfera são diretamente aplicados na tentativa de compreender a formação e desenvolvimento de nuvens e são utilizados na previsão de precipitações. A compreensão física de como esse processo é formado, levando-se em consideração as variáveis que participam desse processo, permite-nos aperfeiçoar o desenvolvimento de métodos de observação e medida de técnicas meteorológicas de monitoramentos.

Uma vez que essa compreensão seja definida é possível utilizar as RNAs (Redes Neurais Artificiais) em consonância de um sistema de coleta de dados ambientais para a criação de processo de monitoramento/previsão cada vez mais sofisticado, cujo objetivo também é de baratear o processo de monitoramento, tornando-o mais acessível e preciso.

Um banco de dados também deve ser desenvolvido à medida que o sistema estiver funcional para que o todo o arranjo se torne otimizado, ou seja, para que o conjunto de monitoramento alimente diretamente a rede neural. Esse banco de dados servirá também para eventuais pesquisas para o meio acadêmico e uma vez que o sistema de monitoramento tem como objetivo ser acessível, a criação de bases de dados regionalizadas torna-se possível com a conclusão deste trabalho.

Buscando criar novas estratégias para a resolução do problema proposto e tendo em vista o caráter de pesquisa introdutória deste, o mesmo se torna muito valioso para fins acadêmicos e apresenta-se também como a alternativa muito viável para processos de monitoramento.

IV. DESENVOLVIMENTO

As atividades do projeto surgiram a partir de revisões literárias e definição do escopo do mesmo para que então fosse criada uma arquitetura de desenvolvimento e instalação de ferramentas de criação e avaliação dos protótipos. Pesquisas para escolher o micro controlador, sensores com melhor desempenho e adaptabilidade, ambientes de programação e banco de dados foram feitas através das mesmas revisões a fim de melhorar a interação entre os componentes de *hardware* e *software*.

Das revisões literárias procurou-se levantar e analisar experiências globais em estratégias, sistemas e plataformas de monitoramento de dados ambientais, bem como a forma de gerenciá-los. No que se refere às redes neurais artificiais é de suma importância que o sistema de monitoramento e o sistema de análise/tratamento dos dados estejam plenos e funcionais para que então a rede possa passar pelo treinamento.

As pesquisas e revisões literárias revelaram uma gama de redes neurais artificiais para serem usadas no projeto, porém, a que melhor se adequou a realidade deste trabalho foi a rede *Perceptron* de Multi-Camadas (*MultiLayer Perceptron*), que consiste em uma rede neural clássica semelhante a *Perceptron* mas com mais de uma camada de

neurônios em alimentação direta. Esse tipo de rede é composto por camadas de neurônios ligados entre si por sinapses com pesos e será mais bem abordada nos itens que seguem. O projeto pode ser descrito em duas unidades, a primeira chamada unidade remota que fará a coleta e envio dos dados ambientais e a segunda chamada de unidade central que fará o tratamento dos dados obtidos. A seguir a composição das duas unidades demonstrada pela figura 1.

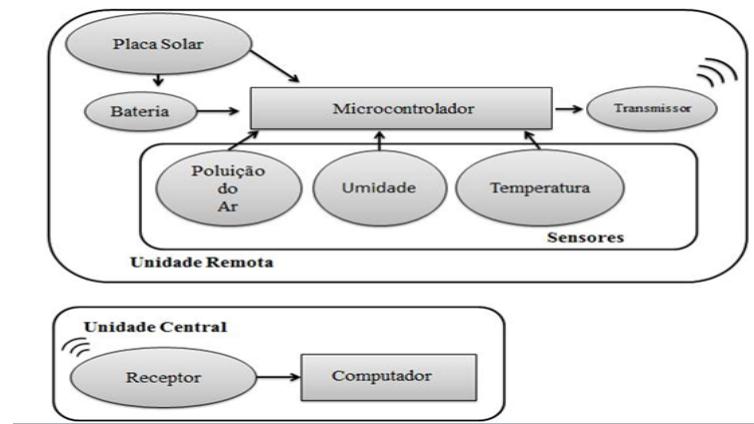


Fig 1. Representação da Unidade Remota e central.

A. Redes Neurais Artificiais

Segundo Nigrin (1993), uma rede neural artificial é um circuito composto por uma grande quantidade de unidades simples de processamento inspiradas no sistema neural.

Haykin (1999) diz que RNAs são sistemas massivamente paralelos e distribuídos, compostos por unidades de processamento simples que possuem uma capacidade natural de armazenamento e utilização do conhecimento.

RNAs podem ser definidas, portanto, como uma estrutura de processamento (rede), inspiradas no sistema nervoso central humano que são capazes de realizar o aprendizado de máquina bem como o reconhecimento de padrões e passíveis de implementação em dispositivos eletrônicos, compostas por um número de unidades interconectadas (neurônios artificiais).

Os neurônios artificiais, como unidades de processamento das RNA, são fundamentais para o funcionamento da rede.

Conjunto de sinapses ou elos de conexão, onde cada elo é caracterizado por um estímulo de entrada (x) e por um peso (w).

Combinador Linear (\sum): Efetua o somatório dos sinais ponderados de entrada do neurônio.

Função de ativação: Usa o somatório do item anterior como parâmetro para produzir a saída do neurônio que é calculada da seguinte forma:

$$y_k = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (1)$$

Onde:

w são os pesos das conexões do neurônio k ;

x é o valor de cada um dos m estímulos que chegam ao neurônio k ;

b é o valor do *bias* que será somado ao valor do combinador linear.

Segundo Haykin (2001), estima-se que no cérebro humano haja aproximadamente 10 milhões de neurônios no córtex humano e 60 trilhões de sinapses ou conexões. Nessa perspectiva observamos as diversas características em comum das RNAs com o sistema nervoso humano:

- O processamento básico de informação ocorre em diversas unidades simples denominadas de neurônios artificiais ou simplesmente neurônios (ou nós);
- Os neurônios estão interconectados gerando redes de neurônios, ou redes neurais;
- A informação (sinais) é transmitida entre neurônios através de conexões ou sinapses;
- A eficiência de uma sinapse, representada por um peso associado, corresponde à informação armazenada pelo neurônio e, portanto, pela rede neural;
- O conhecimento é adquirido do ambiente através de um processo de aprendizagem que é, basicamente, responsável por adaptar os pesos das conexões aos estímulos recebidos do ambiente.

B. Arquitetura da Rede FeedForward de Múltiplas Camadas

O processo de conexão entre neurônios artificiais leva à geração de sinapses e à construção de redes neurais artificiais. A saída de cada camada intermediária é utilizada como entrada para a próxima camada caracterizando a arquitetura de alimentação para frente (FeedForward), figura 2.

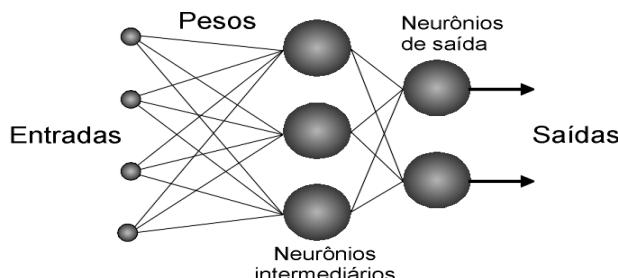


Fig 2. Modelo de Rede MLP

Existem basicamente três camadas em uma rede neural artificial: uma camada de entrada, uma camada

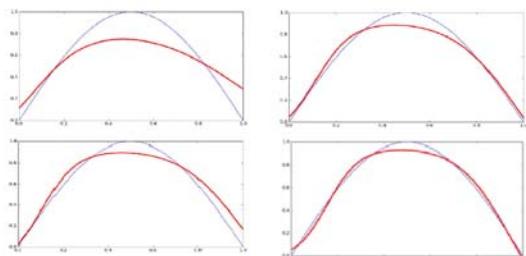


Fig 3. Ajuste da rede na função seno.

intermediária e uma camada de saída, entretanto, nem todas as RNAs possuem camadas intermediárias. A forma pela qual os neurônios estão interconectados está intimamente relacionada ao algoritmo a ser utilizado no seu treinamento, em geral o algoritmo de treinamento para este tipo de rede envolve a retro-propagação do erro entre a saída da rede e uma saída desejada conhecida.

C. Algoritmo de Aprendizagem Supervisionado e Rede Perceptron de Multicamadas (MLP)

Haykin (2010) também denomina Aprendizado Supervisionado como “aprendizado com um professor”, quando o conjunto de valores de entrada tem seu próprio valor de saída. Quando o valor de saída é diferente da saída desejada, são ajustados os pesos para reduzir o erro.

Seguindo o preceito de aprendizagem, o projeto desenvolveu-se seguindo os moldes do paradigma de aprendizagem supervisionado uma vez que a mesma é usada para o reconhecimento de padrões e mesmo que o clima seja um fenômeno altamente não linear e as variações meteorológicas tenham uma leve tendência caótica o paradigma de aprendizagem supervisionado foi o indicado para essa problemática, pois um apanhado de entradas que configuram os dados ambientais depois de ajustados os pesos apresentam uma taxa de erro consideravelmente satisfatório para esta pesquisa que ainda é inicial.

A rede Perceptron de Múltiplas Camadas consiste em uma rede FeedForward com pelo menos três camadas sendo uma de entrada, uma intermediária e uma de saída, além dos nós de entrada. A camada de entrada é responsável por receber os estímulos do ambiente a ser classificada, para esse projeto a camada de entrada receberá os dados de temperatura e umidade. O algoritmo baseado em correção de erro mais utilizado para o treinamento deste tipo de rede é o *Back-propagation*, que busca melhorar e ajustar os pesos da rede a partir das informações sobre a retro-propagação do erro.

D. Back-Propagation

O algoritmo conhecido como *BackPropagation* constitui-se basicamente de duas formas; Propagação positiva do sinal funcional, onde todos os pesos da rede são mantidos; e a Retro-propagação do erro, onde todos os pesos da rede são ajustados baseando-se nos erros. A figura 3 a seguir mostra a rede neural após uma sequência de ajustes dos pesos adequando-se à função seno. Em azul está o sinal seno e em vermelho a rede se ajustando a ela.

E. Torre de Coleta de Dados

A torre de coleta consiste em um sistema de circuitos integrados conectados a sensores de temperatura, umidade relativa, poluição do ar e uma placa solar, gerenciados através de um Arduíno e transmitindo as informações através do protocolo ZigBee.

F. Micro Controlador Utilizado na Instalação do Sistema

Arduino Uno, foi escolhido como sistema micro controlador para o projeto, pois o mesmo conseguiu suprir todas as necessidades e apresentou um ótimo custo benefício. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open-source*, baseada em um Micro Controlador da família *Atmel*, que se conecta ao computador pessoal através de uma porta serial ou USB. Ele possui uma linguagem de programação própria, derivada de *Wiring* e é implementado em um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) também próprio, e que pode ser utilizado em vários sistemas operacionais. Através desta plataforma pode-se montar uma variedade de circuitos de forma fácil e ágil como, por exemplo, um sistema de sensores responsáveis pela automação de uma casa, cujos dados podem ser interpretados pelo próprio Arduino ou repassados para um PC (*Personal Computer*, ou *Computador Pessoal*). A interação se dá pela porta USB conectada ao PC ou por uma fonte externa de até 25 v.

G. Informações técnicas sobre o sensor de temperatura e umidade

O sensor SHT15 é um componente utilizado para aferições de valores de temperatura e umidade relativa do ar, este dispositivo pertence à família SHTXX da empresa suíça Sensirios e apresenta a melhor precisão. Este equipamento é composto por dois sensores integrados, que trabalham em uma faixa de temperatura entre -40°C e 140°C, além da umidade relativa entre 0% e 100%. Porém, a previsão dos sensores é distinta de acordo com a temperatura e umidades aferidas. Para a umidade relativa do ar, a precisão entre 10% e 90% varia para mais ou menos 2%.

Para os valores de temperatura, a precisão do sensor analisado é menos linear, entretanto, o SHT15 apresenta uma ótima resposta se for comparado com outros sensores disponíveis no mercado. A temperatura média entre 10°C e 60°C pode ter cerca de 1°C de variação para mais ou para menos.

A tecnologia digital CMOS integra os dois sensores e o circuito de leitura em um único chip, facilitando a coleta e processamento das informações, esse foi um fator essencial para a escolha de tal sensor. Este ainda apresenta uma porta digital de saída e um baixo consumo de corrente, sendo ideal para inúmeras aplicações.

H. Transmissão de dados coletados

A transmissão e recepção desses valores deu-se através da placa Xbee (Xbee 1mw Trace Antena) fabricada pela DigiInternational. O Xbee, figura 5, é um módulo com transmissor/receptor ZigBee completo, já estando prontos para trabalhar em uma rede ponto-a-ponto, com uma largura de banda de 250 kbps e um alcance máximo de mais de 100 metros em campo aberto, sua principal vantagem é o baixo consumo de potência e seu custo reduzido.

O protótipo é energizado com um sistema de energia renovável, através de painéis solares fotovoltaicos, que carregam uma bateria de Li-ion com uma capacidade de 3,7V e 1500mA, além de fornecer os dados de índices de radiação ultra violeta para o Micro Controlador.

I. Desenvolvimentos do software de coleta

O *software* para a coleta e tratamento dos dados foi desenvolvido e construído na plataforma de programação *python IDE* na versão 2.7 para o sistema operacional *Microsoft Windows 8* também em *LINUX* entre outros.

Executado dentro do próprio ambiente de programação o *software* apresentará um retorno onde serão visualizados os valores dos dados coletados em forma de tabela onde os parâmetros de temperatura, umidade relativa do ar, poluição, incidências de raios UV estão organizados por colunas e a linhas apresentam os valores coletados por hora. O *software* verifica a comunicação serial entre a máquina e o receptor/transmissor XBee Xplorer com o objetivo de receber as informações coletadas da estação de monitoramento, uma vez coletadas as informações são redirecionadas para um banco de dados estruturado em PostgreSQL onde acontece o armazenamento das mesmas para eventuais análises.

V. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Ao concluir a implementação do projeto, foi desenvolvido um *software* de coleta e armazenamento dos parâmetros ambientais em um banco de dados, uma rede neural artificial desenvolvida em *python* com dados de teste e treinamento retirados do banco de dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados esses referentes aos últimos três anos de dados climáticos da cidade de Belém do Pará, além de uma estação de monitoramento, onde estão presentes todos os sensores e o Arduino, como demonstrado na figura 6.



Fig 5. Base coletora de parâmetros ambientais

Pode-se verificar que a rede neural artificial junto ao sistema de coleta e análises de dados ambientais seriam uma alternativa economicamente viável se comparadas aos

modelos atuais de previsões climáticas, porém devido à dificuldade de se modelar matematicamente os fenômenos da natureza como a incidência da chuva e o caráter introdutório da pesquisa, ainda há a necessidade de se realizar mais ajustes das variáveis envolvidas, como número de camadas na rede, números de neurônios de entradas, bem como o número de iterações para que a taxa de erro seja a menor possível refletindo assim na maior precisão dos resultados.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Margulis, S e Schmidt, C. B, (2010) "Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades" / editado por Sergio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch.– São Paulo: IBEP Gráfica, pp. 82.
- [2] M. E. Z. Veríssimo e F. de A. Mendonça (2004) "Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população."- Paraná, Curitiba, pp.1-3.
- A. Alessi, A. M. Lins, B. E. O. Meneguele, J. P. M. Do Nascimento ,T. G. De Aveiro (2013) "Estação De Monitoramento De Poluentes", Paraná-Curitiba –Monografia.
- [3] L. L. Gioppo, M. M. K. Higaskino, R. F. Da Costa, W. H. T. Meira (2009) "ROBÔ SEGUIDOR DE LINHA", Paraná- Curtiba. pp. 6,8,10,17 – Monografia.
- [4] HANWEI ELECTRONICS CO ., LTD. **Datasheet MQ-7 Gas Sensor:** Folhas de dados do MQ-7.
- [5] Margulis, S e Schmidt, C. B (2010) "Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades" Direção geral Jacques Marcovitch.– São Paulo: IBEP Gráfica, 2010. Diagrama de blocos pp. 4.(resumo executivo).
- [6] G. DE SOUZA (2007)"A INFLUÊNCIA DO RITMO CLIMÁTICO NA MORBIDADE RESPIRATÓRIA EM AMBIENTES URBANOS", Presidente Prudente – SP.
- [7] Braga , T. C. e Azevedo, J. A. R. (2010) "Monitorização Ambiental em Espaços Florestais com Rede de Sensores Sem Fios", Funchal, 29 de Novembro de monografia.
- [8] Leonardo M. Rodrigues, Graçaliz P. Dimuro, Antônio C. R. Costa(2010) "ESTAÇÃO DE COLETA DE DADOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO", (Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 10ª Mostra da Produção Universitária – MPU)
- [9] Maeda, E. Y.(2011) "Redes Neurais Artificiais para a Previsão de Precipitação Pluviométrica na Região de Campos Mourão com Base em Variáveis Meteorológicas".
- [10] Teixeira, João V. S.(2012) "Previsão do Índice da Bolsa de Valores do Estado de São Paulo Utilizando Redes Neurais Artificiais".
- [11] Santos, Zell ,João e Paulo Krebs(2002) "Estudo Preliminar da Utilização de Redes Neurais na Previsão de Temperatura Média Diária para a Cidade de Pelotas-RS".

Aplicativo Android para localização de Smartphones sem o uso do Serviço de Dados

Laís de Cássia Silva Alfredo

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
laís.alfredo@get.inatel.br

Dione Rafael Ribeiro

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
dioneribeiro@geb.inatel.br

Daniel Andrade Nunes

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
danielnunes@inatel.br

Resumo — Este documento contém informações sobre o estudo do sistema operacional Android, chegando numa conclusão sobre a viabilidade e proposta de desenvolvimento de um aplicativo para Android capaz de localizar smartphones furtados sem a necessidade de o mesmo estar conectado ao serviço de dados.

Palavras chave— Android, Furto, Pesquisa, Rede, Smartphone.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 11,9 milhões de brasileiros foram vítimas de roubo ou furto no ano de 2010. O número representa 7,3% da população com dez anos ou mais de idade. Os roubos foram concentrados em vias públicas (70,5% dos casos). Já os furtos ocorreram mais em residências (47,6% dos casos). Telefone celular, dinheiro, cartão de débito ou de crédito ou cheque foram os principais alvos de roubo. Porém, em 2009, os porcentuais de roubo e furto de telefone celular ultrapassaram os de dinheiro, cartão e cheque[1].

Com o alto preço dos smartphones, o número de adesões de seguros contra roubo e furto qualificado para estes aparelhos tem crescido no país, apesar de muitos clientes ainda considerarem o serviço caro[2].

Assim, empresas como a Apple e Google fornecem para usuários de seus equipamentos, aplicativos capazes de rastrear os Smartphone furtados. A primeira, desenvolveu para iphone o aplicativo “Find My iPhone” (também conhecido como Encontrar iPhone) [3] que permite a localização e o rastreamento remoto de dispositivos iOS e computadores Mac. Depois, a Google lançou para o sistema Android o aplicativo "Find My Phone" (Encontre Meu Fone). Entretanto ambos necessitam de conexão de rede para o envio de informações de localização dos aplicativos/sistemas de segurança.

Baseado nesse cenário, foi realizada uma pesquisa referente aos aplicativos já existentes no mercado, verificando sua eficácia e requisitos de operação. A grande maioria dos aplicativos encontrados apresentavam duas características, apresentadas a seguir. Primeiro, exigem poder de processamento do celular, podendo provocar baixo desempenho em caso de celulares mais simples. Segundo,

necessitavam que o serviço de dados (conexão de rede) esteja habilitado e funcionando adequadamente.

Assim, o foco principal do trabalho foi verificar a viabilidade de um sistema para Android capaz de localizar os smartphones furtados sem a necessidade de estar conectado ao serviço de dados. Também faz parte do trabalho, uma vez verificada a viabilidade, o desenvolvimento de um aplicativo Android, para a localização de Smatphones sem o uso do serviço de dados.

II. METODOLOGIA

Após um processo de pesquisa, encontraram-se meios de localizar um smartphone furtado sem a necessidade de estar conectados a uma rede. Estes meios foram analisados e a viabilidade de suas aplicações no projeto em questão foi verificada.

As etapas mencionadas a seguir, referem-se ao desenvolvimento do projeto citando a solução encontrada em cada etapa.

A. Aplicativos existentes no mercado

A princípio foi realizada uma análise dos aplicativos ativos no mercado. Os que mais se aproximam da proposta foram o PSafe Suite Antivirus Security, da empresa Psafe [3]. Porém, este e outros aplicativos similares encontrados utilizam - se da rede internet para realizar pelo menos uma parte de suas funções propostas. O fato de necessitarem de conexão ao serviço de dados, também pode ser um problema para quem possui um acesso limitado a internet, algo muito comum no Brasil.

Uma outra desvantagem a ser citada, é de realizar tarefas em segundo plano. Além de ocuparem a memória RAM do celular, o que causa problemas de lentidão e travamento de aparelhos com poucas memoria, esses aplicativos geralmente são pesados, ocupando um grande espaço na memória de armazenamento.

B. Funcionamento da rede móvel atual

Para o embasamento do projeto, foi realizado um estudo da rede tele móvel atual, estudando seus componentes bem como os serviços suportados.

Os componentes de uma rede GSM – *Global System for Mobile Communication* (Sistema Global para Comunicações Móveis), conforme Figura 1 [8], são a MSC – *Mobile Switch Center* (Central de Comutação e Controle), BTS – *Base Transmition Site* (Estação Rádio Base), BSC – *Base Station Controller* (Controlador de Rádio Bases), o celular como dispositivo móvel, bases de dados de localização e serviços de usuários, roteadores para os serviços de dados, dentre outros componentes.

Os componentes de uma rede WCDMA – *Wide Band Code Division Multiple Access* (), conforme Figura 2 [9], são a MSC – *Mobile Switch Center* (Central de Comutação e Controle), NodeB (Estação Rádio Base), RNC – *Radio Network Controller* (Controlador de Rede de Rádio), o celular como dispositivo móvel, bases de dados de localização e serviços de usuários, roteadores para o serviço de dados, dentre outros componentes.

Após o estudo destes componentes e sistemas, ficou claro que a solução mais simples e viável é a implantação de um aplicativo de localização baseado no próprio celular, sendo a sua operação independente e transparente ao sistema celular. Isso se torna óbvio dado que o aparelho celular é o único componente da cadeia telefônica que pertence ao usuário, sendo a segurança do aparelho de seu interesse. Desta forma, o próprio usuário será o responsável para a ativação e configurações do aplicativo.

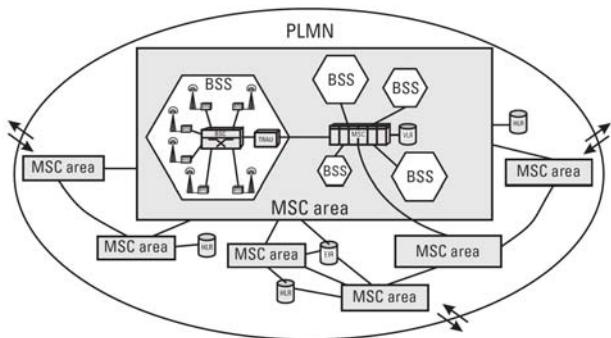


Fig. 1. Rede GSM

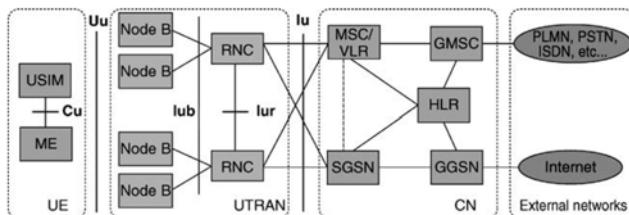


Fig. 2. Rede WCDMA

Após estudos referentes aos serviços disponibilizados pelos sistemas celulares, pode-se concluir que o meio mais eficiente para realização do projeto é através do serviço Short Message. Este possui inúmeras vantagens: caso a transmissão não seja concluída, o SMS fica armazenado no SMSC - Centro de Serviço de Mensagens Curtas, sendo retransmitida assim que possível. Outra vantagem é o baixo custo, pois é possível enviar mensagens de texto gastando pouco dinheiro, o que

torna este serviço muito procurado e eficaz, atingindo muitos usuários.

Todas as características citadas acima apontam o serviço de Short Message como o "gatilho" ideal para um aplicativo ativado remotamente, sem o uso da rede de dados.

C. Plataforma de Desenvolvimento – Eclipse

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada a plataforma Eclipse IDE (*Integrated Development Environment*). Esta plataforma foi originalmente voltada ao desenvolvimento JAVA, entretanto, com o uso de *plugins* suporta muitas outras linguagens, tal como C/C++, PHD, COLDFUSION, PYTHON, SCALE e a plataforma Android. Tal escolha foi baseada no fato de que a arquitetura IDE faz parte do kit de desenvolvimento de software recomendado para desenvolvedores Android[10].

A plataforma Eclipse é baseada em software livre, encontrado facilmente na internet. A Eclipse Foundation[11] apresenta diversos colaboradores, dicas e fóruns para o esclarecimento de dúvidas. Isto facilitou o desenvolvimento do aplicativo nesta plataforma.

As principais dificuldades encontradas foram à necessidade de buscar e instalar os *plugins* necessários para o aplicativo, e o fato do Eclipse ser uma plataforma robusta, exigindo um computador de configuração robusta para maior eficiência.

D. Performance do projeto

A princípio, devemos retomar o objetivo do projeto, que é a elaboração de um sistema capaz de localizar um smartphone furtado. Para tal solução, utilizaremos a função GPS – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global) já disponibilizada pelo aparelho celular e um aplicativo criado na plataforma Eclipse. Este aplicativo será visto como um Bloco de Notas, conforme figura 3, a fim de disfarçar sua função em caso de furto do aparelho.

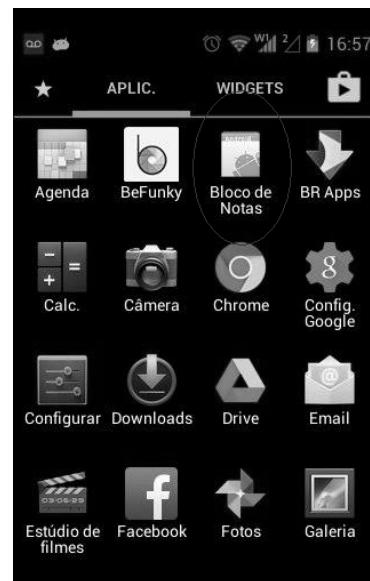


Fig. 3. App instalado como Bloco de Notas

Serão envolvidos no projeto, dois aparelhos celulares, o primeiro definido como “Cel Alvo”, que será o celular a ser

protegido contra roubo, e um segundo conhecido como “Cel Teste”, sendo este o celular que enviará uma mensagem de segurança ao “Cel Alvo” em caso de roubo do mesmo.

O aplicativo desenvolvido será instalado no “Cel Alvo”, e tem a função de realizar a conexão com o GPS do aparelho, fazendo-o retornar, sigilosamente, as coordenadas em que se encontra o aparelho celular.

Primeiramente deverá ser instalado o aplicativo no “Cel Alvo” que, como dito anteriormente, é o celular a ser protegido contra roubo. Ou seja, é imperativo que este aplicativo seja instalado assim que o celular for adquirido pelo usuário que tenha interesse em proteger seu investimento usando outras técnicas além das já disponíveis já comentadas na introdução deste artigo.

Após esta etapa, será pedido que o usuário defina uma mensagem de segurança, conforme figura 4. Para efeito de demonstração, foi utilizado como mensagem o seguinte código: *casa*. Quando recebida pelo “Cel Alvo”, esta mensagem funcionará como um gatilho, ativando o aplicativo que fará a leitura das coordenadas GPS de onde o “Cel Alvo” se encontra e as enviará ao “Cel Teste” no formato e um SMS.

Sendo assim, depois de instalado o aplicativo no “Cel Alvo”, basta o “Cel Teste” enviar a mensagem de segurança para o “Cel Alvo”, conforme figura 5, que este retornará automaticamente, em forma de mensagem de texto, a sua localização exata, mostrando a latitude e longitude de sua posição no exato momento do recebimento da mensagem de segurança.

Logo após o Cel Alvo receber a mensagem de segurança, é lido via GPS às coordenadas da posição na qual se encontra o aparelho. Essas são enviadas automaticamente, conforme figura 6, para o Cel Teste.

Ao representar as latitudes e longitudes fornecidas na mensagem em algum sistema de mapas, como a Google Maps, mostrará a localização do Cel Alvo no exato momento.



Fig. 4. Definindo palavra chave no App

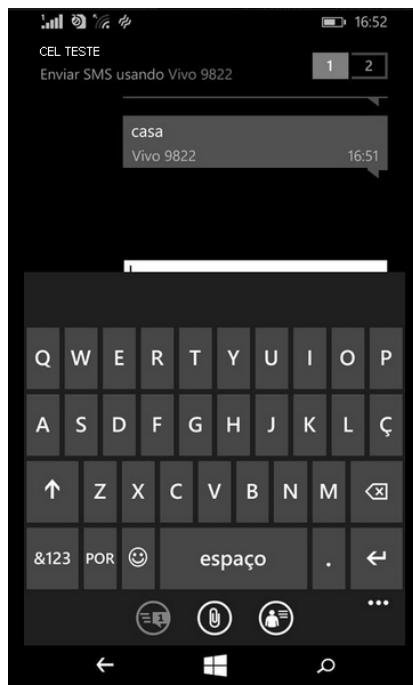


Fig. 5. Mensagem enviada pelo Cel Teste

A figura 7 mostra a sequência das operações realizadas pelo aplicativo, da sua inicialização até o momento do retorno das coordenadas ao Cel Teste.

III. CONCLUSÕES

Como foi proposto inicialmente no projeto, seria realizado um estudo a respeito do sistema operacional Android, chegando numa conclusão sobre a viabilidade e proposta de desenvolvimento de um sistema capaz de localizar os smartphones furtados sem a necessidade de estar conectados a uma rede. Para tal, encontrou-se uma solução adequada

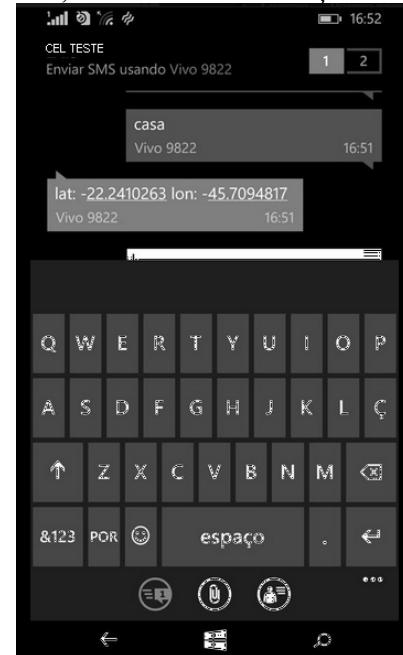


Fig. 6. Mensagem retornada ao Cel Teste

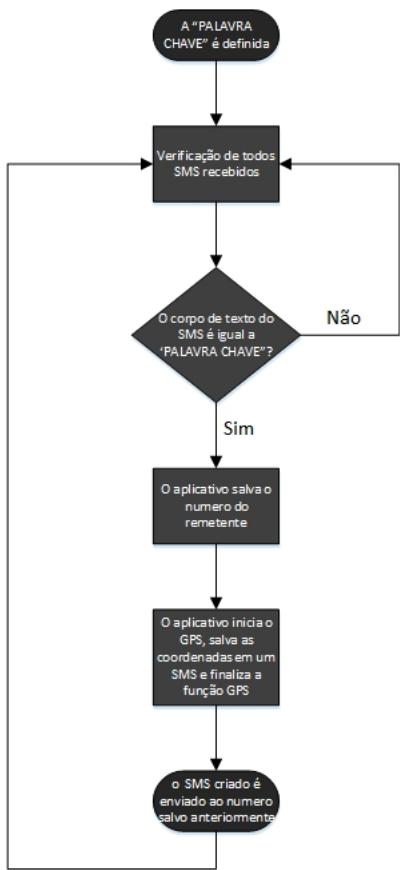


Fig. 7. Fluxograma de operação

através de um sistema (aplicativo) gerado na plataforma Android - Eclipse, já detalhado no item anterior. Este sistema atende a necessidade principal do projeto, através da conexão com o GPS, sendo localizar o aparelho roubado sem o uso da rede, tornando-o diferente dos demais já existentes no mercado.

Importante salientar que para a utilização do aplicativo é necessário um celular com uma versão de Android 4.0 ou posterior. E, obviamente, um celular com funcionalidade GPS, e que esteja autorizado a sua solicitação por aplicativos instalados.

Uma implementação bastante adequada ao projeto, seria a inserção de um mapa para visualizar as coordenadas de localização no próprio aplicativo. Outra sugestão para melhoria do projeto seria implementar uma forma de bloquear o aplicativo para que somente pessoas autorizadas, através de uma senha, fossem capazes de alterar o código de segurança. Estas sugestões não serão descartadas a fim de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. (2013, Outubro). [Jornal Online]. Disponível: <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/ibge-metade-da-populacao-se-sente-insegura-onde-vive>
- [2] Revista Cobertura. (2013, novembro). Cresce a adesão a produtos contra roubos e furtos. [Revista Online]. Disponível em: http://www.revistacobertura.com.br/lermais_materias.php?cd_materias=96961&friurl=-.Cresce-a-adesao-a-produtos-contra-roubo-e-furto
- [3] PSafe. PSafe Suite Antivirus Security. Disponível em: <http://www.psafe.com/>.
- [4] California Software Laboratories. (Short Message Service) -Technical Overview.
- [5] J. Brown, B. Shipman e R. Vetter, The Short Message Service, da Universidade da Carolina do Norte.
- [6] M. Harrington. Understanding SMS: Practitioner's Basic.
- [7] Méier. Reto livro: Professional android 4 : application development.
- [8] HEINE, Gunnar. GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation. 685 Canton Street Norwood, Ma 02062: Artech House, Inc., 1998. 417 p.
- [9] HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. WCDMA FOR UMTS: HSPA EVOLUTION AND LTE. 4. ed. Chichester, West Sussex Po19 8sq, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 574 p.
- [10] Android Developers, (2015, Fevereiro). Disponível: <http://developer.android.com/sdk/index.html>
- [11] Eclipse, (2015, Fevereiro). Disponível: <https://www.eclipse.org/>

Proposta de Sistema Operacional de Tempo Real Orientado a Eventos para Sistemas Embarcados com Foco em Aplicações para Internet das Coisas

Amanda Kelly da Silva

Samuel Pereira

Edielson Prevato Frigieri

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
amandakelly@gec.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
samuelpereira@gec.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
edielson@inatel.br

Resumo — A Internet pode ser considerada uma tecnologia criada inicialmente para conectar pessoas. O futuro desta tecnologia é a Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) que objetiva conectar as pessoas a todos os objetos, ou coisas, que estão a sua volta, permitindo que, além do controle, as pessoas tenham acesso ao estado dessas coisas. Esta nova aplicação para a Internet traz novos cenários de negócio onde pode-se explorar recursos como, por exemplo, prestação de serviços de informação, análise de negócios, tomadas de decisão em tempo real e plataformas como serviços (PaaS - Platform as a service). Como a base desta nova internet está nos objetos, este trabalho apresenta uma proposta de arquitetura para um Sistema Operacional de Tempo Real (RTOS - Real Time Operating System) com foco em aplicações para a Internet das Coisas. Primeiramente são apresentados os benefícios da utilização de sistemas operacionais para sistemas embarcados e em seguida como a arquitetura proposta utiliza destes benefícios. Além disso, são propostas algumas abordagens mais adequadas às necessidades desta nova arquitetura de Internet, dentre elas a orientação a eventos e a criação de tarefas como máquinas de estado, que conseguem reduzir o consumo de energia do sistema além de garantir as restrições de tempo real.

I. INTRODUÇÃO

Internet das Coisas (IoT - Internet of Things) é um novo projeto que começou com o código de produto eletrônico (EPC) desenvolvido pelo Auto-ID Center do MIT, cujo principal objetivo era o de criar um sistema global de registro de bens, de modo que cada objeto tenha seu id na internet e possa ser facilmente acessado[1]. A ideia principal refere-se a um tipo de rede para a conexão de qualquer tipo de objeto com a Internet para a realização de troca de informação e comunicação, com o objetivo de prover serviços como monitoramento, rastreamento, posicionamento e reconhecimentos inteligentes [2].

Esta nova aplicação da Internet tem como elemento central

o objeto, chamado de "coisa", que será responsável pela execução das aplicações e funcionalidades da rede [3]. Como em muitos casos estes objetos são pequenos [4], a arquitetura de seu sistema deverá ser leve a ponto de funcionar em microprocessadores com muito pouco recurso além de ser flexível, permitindo atualização e manipulação remotas e em tempo de execução [5].

Vários trabalhos recentes tem proposto novas arquiteturas para a IoT [6], protocolos e formas de implementar o futuro da Internet [7, 8]. Seguindo essas tendências, este trabalho apresenta uma proposta para uma arquitetura de Sistema Operacional baseado em eventos, que permite objetos baseados em hardwares com poucos recursos de processamento e memória, não só se conectarem com Internet, mas também para mudarem a sua aplicação e funcionalidades em tempo real.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na seção 2 serão discutidas as características de um RTOS e o que o torna uma ferramenta eficiente para projetos com requisitos de resposta em tempo real. Na seção 3 será apresentada a arquitetura proposta para um Sistema Operacional baseado em eventos para atender às características de objetos em IoT. A seção 4, por sua vez, apresenta os resultados obtidos e, por fim, o trabalho será concluído na seção 5.

II. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS OPERACIONAIS DE TEMPO-REAL

Sistema operacional de tempo real é um subtipo de sistema operacional que possui a maioria das características de um SO convencional. É responsável por controlar e gerenciar os vários recursos de hardware e disponibilizar o acesso a estes recursos por meio de chamadas do sistema. As principais características que diferenciam um RTOS de um SO convencional são as seguintes:

A. Características de tempo real

A característica de tempo real representa a precisão do tempo de resposta. Toda tarefa do sistema precisa ter um tempo determinado e precisa ser atendida dentro deste tempo a fim de garantir uma resposta a eventos dentro de um tempo limite [9,10]. No RTOS, o tempo de expedição de

uma tarefa, a latência da alternância entre tarefas e a latência de interrupção devem ter um tempo previsível e consistente, mesmo quando o número de tarefas aumenta [10].

B. Escalonamento com prioridade

Para os sistemas operacionais de uso geral, o escalonamento tem o objetivo de distribuir igualmente os recursos do sistema entre as tarefas concorrentes da forma mais justa quanto for possível. São quase sempre desenvolvidos utilizando algoritmos round-robin para o escalonamento de tarefas, que são baseados na divisão do tempo total de processamento disponível (time slice). Já para o caso de sistemas operacionais de tempo real, em alguns momentos é necessário dar total atenção a alguma tarefa crítica, a fim de garantir que a mesma seja executada. Para que isto ocorra, o método de escalonamento de tarefas deve ser do tipo preemptivo, no qual é possível definir prioridades para as tarefas do sistema de modo que uma tarefa de maior prioridade interrompa incondicionalmente outra de menor para utilizar dos recursos de CPU necessários [10].

C. Previsibilidade na sincronização de tarefas

A sincronização entre tarefas em um RTOS deve acontecer com tempo previsível, utilizando alguma ferramenta de sincronização como semáforo, filas de mensagem, flag de evento, etc. Em SO's genéricos, não é possível sincronizar tarefas porque o próprio SO introduz atrasos no sistema [10].

Como desvantagem, os serviços providos por um RTOS adicionam um overhead de execução, que pode variar entre 2% e 5% do uso da CPU. Um espaço extra de memória ROM ou FLASH é necessário para armazenar o código, que pode variar de algumas centenas de bytes até algumas centenas de milhares de bytes. Além da memória de programa, um RTOS consome RAM para o armazenamento do contexto e da stack de cada tarefa, que varia da mesma forma que o espaço para o armazenamento do código.

O foco de um RTOS é atender aos requisitos de tempo do sistema de forma previsível, não se preocupando com a questão de autonomia de energia, por exemplo, que é um dos requisitos dos objetos da IoT. Para adequar a estas necessidades, será apresentada uma proposta de arquitetura de um RTOS baseado em eventos que mantém os benefícios de um RTOS e acrescenta algumas características como, por exemplo, a preocupação quanto a consumo de energia e flexibilidade de instalação de aplicações em tempo real. Esta arquitetura terá suas principais características detalhadas na próxima seção.

III. RTOS BASEADO EM EVENTOS PARA IOT

A arquitetura proposta tem como base de funcionamento uma fila de eventos com prioridades e máquinas de estado

hierárquicas, o que em conjunto definem um modelo conhecido como modelo computacional de objeto ativo [12]. Além disso, o suporte a multitarefas concorrentes é realizado por intermédio de um escalonamento cooperativo [13]. Os detalhes desta arquitetura serão detalhados nas subseções seguintes.

A. Escalonador cooperativo

Para resolver a questão das multitarefas concorrentes do sistema, optou-se por um algoritmo de escalonamento cooperativo. Ele permite a criação e remoção de tarefas a qualquer momento, mesmo se o sistema estiver em funcionamento. As tarefas são executadas sequencialmente com base na ordem e prioridade definida no momento de sua criação. Há troca de contexto apenas entre as tarefas de prioridade diferente. Caso contrário, cada tarefa pode ser executada até sua conclusão sem interrupção de outras tarefas. A operação do escalonador está ilustrada na Figura 1. Esta versão do escalonador permite a criação de tarefas com até três níveis de prioridade diferentes. As tarefas vinculadas ao escalonamento cooperativo serão executadas a cada estouro de tempo previamente configurado, tornando-as baseadas em eventos, ou seja, dependentes de que ocorra o evento de estouro de tempo para que sejam executadas.

Durante a execução de uma tarefa, caso ocorra um evento que iniciará outra tarefa de maior prioridade, haverá um preempção na primeira tarefa permitindo que a de maior prioridade seja tratada. Ao fim do tratamento deste evento, o sistema devolve à execução à tarefa que foi interrompida.

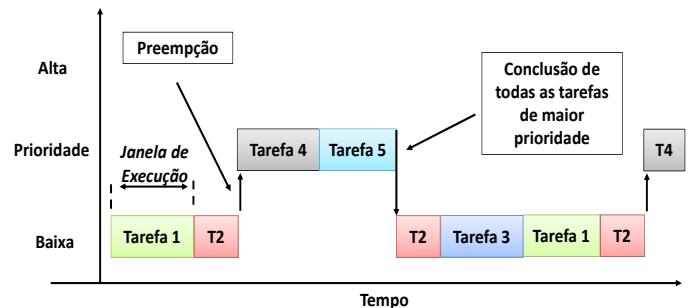


Fig. 1. Exemplo de ciclo de execução para o escalonador

B. Tarefas como máquinas de estado

Para garantir a resposta do sistema em tempo real, as tarefas devem ser desenvolvidas baseadas em máquinas de estado, de modo que qualquer atraso, interrupção ou até mesmo ruptura do sistema seja evitado.

Estas tarefas poderão ser executadas diretamente pelo escalonador do sistema caso precisem ser executadas periodicamente ou poderão ser chamadas por meio de um evento gerado no sistema de acordo com a arquitetura desenvolvida para esta tarefa.

As tarefas, que são executadas com base em eventos, precisam de uma fila de eventos para gerenciar sequência com

que serão executadas de acordo com sua prioridade. Essa fila será estudada a seguir.

C. Fila de eventos

Um dos grandes benefícios da arquitetura proposta é sua fila de eventos. Com essa estrutura é possível criar um sistema que seja baseado nos eventos internos e externos, sem a necessidade de manter o mesmo em operação o tempo todo, o que demandaria mais energia. Todo evento gerado é colocado em uma fila com sua devida prioridade e posteriormente o sistema trata baseado nessa sua importância. A cada evento gerado está associada uma tarefa que executará uma sequência de estados até atingir seu objetivo final ou mesmo gerar um novo evento para o sistema. Um exemplo de funcionamento da fila de eventos pode ser visto na Figura 2.



Fig. 2. Exemplo de funcionamento da fila de eventos.

Os passos apresentados na Figura 3 podem ser detalhados da seguinte forma:

- (1) Fila de eventos inicialmente com dois eventos cada um com prioridade diferente.
- (2) Um novo evento ocorre no sistema introduzindo um novo evento na fila com prioridade 3.
- (3) A fila de eventos passa a conter 3 eventos.
- (4) Neste momento ocorre uma troca de controle e o sistema verifica a fila de eventos e define, com base na prioridade, qual evento será tratado. A tarefa para o qual este evento foi publicado recebe o controle e executa a sequência de estados necessária para seu tratamento.
- (5) A fila de eventos passa a conter apenas 2 eventos, já que o evento tratado foi removido da fila.

Os eventos aqui mencionados podem ser qualquer evento de hardware, como por exemplo, um pacote Ethernet ou dados

provenientes de uma interface USB, assim como o envio de alguma informação interna de uma tarefa para outra. De qualquer forma, os eventos devem ser publicados especificamente para uma tarefa que poderá assinar o recebimento do mesmo.

Com base nesta ideia, o sistema poderia ser mantido em modo de economia de energia e só acordar quando chegasse um pacote Ethernet, gerando assim um novo evento. Este é o princípio considerado para que ocorra eficiência de energia.

D. Conexão com Internet

A conexão com a Internet é realizada por intermédio de uma pilha TCP/IP, que pode ser montada sobre uma interface Ethernet ou Wi-Fi. A troca de dados é realizada por intermédio de um protocolo M2M conhecido como MQTT [14]. Este protocolo se baseia no princípio de publica/assina (Publish/Subscribe) e possui características como velocidade, simplicidade, robustez a conexões instáveis, vários níveis de QoS e eficiência energética, que são necessárias para se construir uma verdadeira IoT. Por ser um protocolo baseado em filas de mensagens, torna-se compatível com a utilização de um sistema que também é baseado em fila.

E. Capacidade de atualização de aplicação

A capacidade de atualização de aplicativos é a principal característica projetada para este RTOS. Ela permite o carregamento de um novo aplicativo para um objeto, que é baseado em um microcontrolador, em tempo de execução. Também permite a instalação de novas funcionalidades mesmo que faça acesso ao hardware. O que a torna possível é a maneira como o RTOS foi arquitetado. Para entender como ele funciona, é importante começar na memória flash do microcontrolador e para isto é necessário definir-se um componente para exemplificar.

Para este trabalho escolheu-se o processador LPC1769, que é um processador ARM Cortex-M3 e que tem um total de 512 KB de memória flash, que é dividida em setores conforme ilustrado na Figura 3. Os primeiros dezesseis setores têm um tamanho de 4KB. Do setor 16 a 29, o tamanho de cada setor alterna entre 32kB e 8kB, respectivamente.

O RTOS utiliza os primeiros 17 setores que representam um total de 128 kB. Os dois últimos setores são usados para guardar os dados de configuração e os demais setores estão disponíveis para a instalação de novos aplicativos. Assim, cada um dos setores de 17 a 27 pode ser utilizado para a instalação de novas funcionalidades para o RTOS e que pode ser escolhido em qualquer sequência. A divisão final da memória pode ser vista na Figura 4.

Para o carregamento de uma nova funcionalidade, primeiro é necessário compilar o novo aplicativo deslocado para o setor de flash onde ele será instalado. Por exemplo, se o aplicativo será instalado no setor 19, ele deve ser compilado para ter o primeiro endereço localizado em 0x00028000. Esta configuração pode ser feita nas propriedades de memória do

software da aplicação. O BSS exigido pelo aplicativo é mostrado nos resultados da compilação.

FLASH	
Setor 0	0x00000000
Setor 1	0x00001000
Setor 2	0x00002000
Setor 3	0x00003000
Setor 4	0x00004000
Setor 5	0x00005000
Setor 6	0x00006000
Setor 7	0x00007000
Setor 8	0x00008000
Setor 9	0x00009000
Setor 10	0x0000A000
Setor 11	0x0000B000
Setor 12	0x0000C000
Setor 13	0x0000D000
Setor 14	0x0000E000
Setor 15	0x0000F000
Setor 16	0x00010000
Setor 17	0x00018000
Setor 18	0x00020000
Setor 19	0x00028000

Setor 29	0x00078000

Fig. 3. Setores de memória flash do LPC1769.

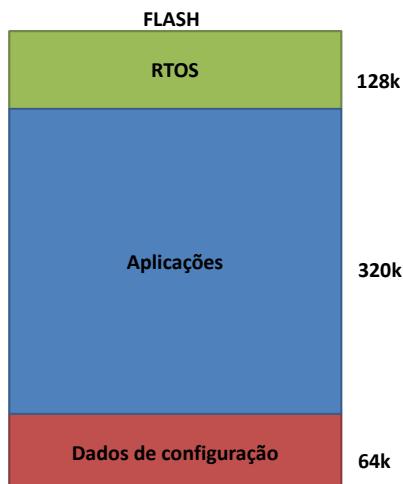


Fig. 4. Exemplo de funcionamento da fila de eventos.

Depois disso, é necessário informar ao RTOS que uma nova aplicação vai ser instalada, enviando o setor e o tamanho do BSS necessário por intermédio da conexão internet por MQTT. Depois que a configuração tenha sido efetuada, o arquivo binário do aplicativo é enviado.

A nova aplicação recebida via MQTT é escrita na memória flash por meio de rotinas IAP (In-Application Programming), que fazem acesso à memória flash interna. Assim que a nova aplicação é instalada, o RTOS executa uma chamada de

sistema no endereço relativo ao setor da memória flash, configurado em tempo de compilação, onde sua função principal está localizada. Dentro da função principal deve haver um ponto de entrada (entry point), conforme apresentado na Figura 5.

```
int main(void)
{
    //Make sure the entry point is not
    //optimized away" from compiler
    int bla = entryPoint;

    while(1)
    {
        //Should never reach this point
    }
    return 0 ;
}
```

Fig. 5. Função principal da aplicação.

O ponto de entrada é o endereço da função utilizada pela aplicação para registrar-se no RTOS, obtendo acesso às principais funções do sistema necessárias para a operação como temporizador, escalonador, gerenciador de memória, interface de linha de comando, rede, sistema de arquivos, fila de eventos e outros. Neste ponto, o aplicativo deve registar-se no RTOS, configurando novas funcionalidades e informando ao sistema os novos comandos disponíveis. A interface que torna essa troca possível é uma camada comum na arquitetura RTOS chamada IUnknown. A arquitetura final do sistema pode ser vista na Figura 6.

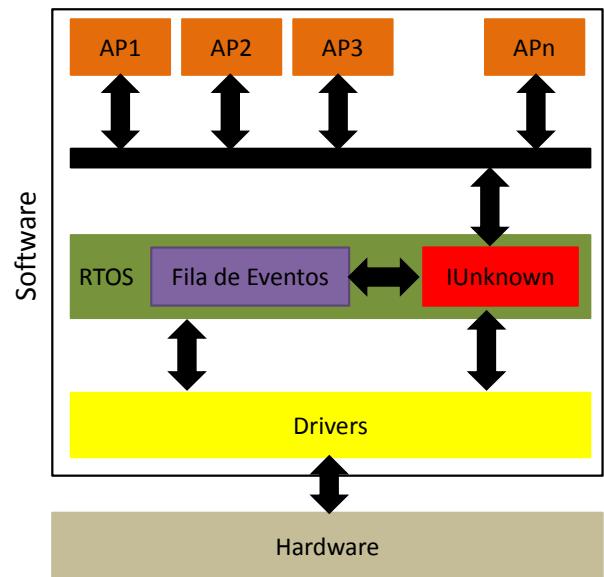


Fig. 6. Arquitetura do RTOS.

IV. RESULTADOS

Para testar a arquitetura proposta, foi desenvolvido um sistema operacional que tem como principal foco eficiência

energética, de modo que o SO permanece em “sleep mode” durante todo o tempo em que não está em uso.

Cada evento tem uma lista de tarefas que o assina. Essa assinatura acontece por intermédio da função “subscribe” que pode ser vista na figura 7.



Fig. 7. Função subscribe.

O sistema sai do sleep mode quando um evento é publicado, processo que ocorre por meio da função “publish”, como mostrado na figura 8. Vários eventos podem ser publicados simultaneamente, porém o que irá definir a ordem de execução é a prioridade.



Fig. 8. Função publish.

O escalonamento do SO é baseado em eventos e suas prioridades. Os eventos de alta prioridade são executados primeiro, em seguida os de média e por último os de baixa, como na figura 9. Logo após esse tratamento, esses eventos são removidos do sistema por intermédio da função “dequeue”, representada na figura 10.

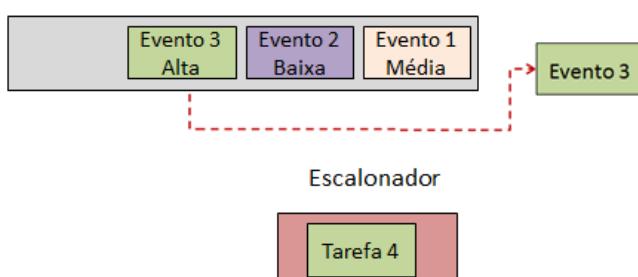


Fig. 9. Função treatEvent.

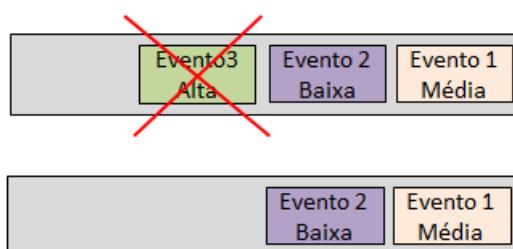


Fig. 10. Função dequeueEvent.

Na figura 10 é possível ver aplicações sendo executadas no sistema desenvolvido em linguagem C inicialmente para o

microcontrolador LPC1769. Três eventos ocorrem: dois eventos de prioridade média por intermédio de interrupção do “systick” são publicados inicialmente e, em seguida, uma interrupção de “uart” publica um terceiro evento de alta prioridade. No momento do tratamento da fila, são executadas as tarefas que assinam o evento de uart primeiro e depois as tarefas que assinam o de systick, seguindo as prioridades.

```

Handling new SYSTICK interrupt.
Publishing new event: SYSTICK.
1026-04-30 22:32:49 [EventOS] [EventOS_getEventSlot] Event: 16 / Priority: 1 / Data 0
total: 1
1026-04-30 22:32:49 [EventOS] [EventOS_publish] Event: 16 / Priority: 1

Handling new SYSTICK interrupt.
Publishing new event: SYSTICK.
1026-04-30 22:32:56 [EventOS] [EventOS_getEventSlot] Event: 16 / Priority: 1 / Data 0
total: 2
1026-04-30 22:32:57 [EventOS] [EventOS_publish] Event: 16 / Priority: 1

Handling new UART interrupt.
Publishing new event: UART.
1026-04-30 22:32:58 [EventOS] [EventOS_getEventSlot] Event: 17 / Priority: 0 / Data 0
total: 3
1026-04-30 22:32:58 [EventOS] [EventOS_publish] Event: 17 / Priority: 0

1026-04-30 22:32:58 [EventOS] [EventOS_setTreatmentPolicy] High: 3 / Medium: 2 / Low: 1
1026-04-30 22:32:58 [EventOS] [EventOS_dequeueEvents] Event: 17 / Priority: 0

Receiving new event from EventOS (UART).
Accelerometer coordinates: (-3,-21,66).

Receiving new event from EventOS (SYSTICK).
Light: 268.

Receiving new event from EventOS (SYSTICK).
Light: 268.

```

Fig. 11. Sistema Operacional em funcionamento.

Todo o código feito até o momento é aberto e pode ser baixado e visto na plataforma Codeplex [15].

V. CONCLUSÕES

A arquitetura proposta apresenta várias vantagens que a torna uma ótima opção para as arquiteturas previstas para IoT. Dentre as principais vantagens, pode-se destacar a economia de energia, que é otimizada por intermédio da abordagem de orientação a eventos na qual o sistema é colocado em modo de economia de energia até que ocorra um evento.

Outro ponto importante é a possibilidade de compilar novas aplicações e instalá-las em tempo de execução e remotamente no sistema portando o RTOS proposto. Esta característica permite uma maior flexibilidade para o objeto permitindo até a exclusão de funcionalidades que não são mais necessárias, considerando que os recursos de memória são escassos nos sistemas embarcados e principalmente nos requisitos mínimos previstos para os objetos da IoT. Esta característica também vão ao encontro do que é imaginado para a Internet do futuro, que prevê várias coisas espalhadas por todos os lados e trocando informações. Os lugares poderão ser os mais remotos e ficaria inviável qualquer atualização de funcionalidade destes sistemas localmente.

Os próximos passos para o desenvolvimento deste RTOS é a utilização de novas arquiteturas de redes propostas em outros trabalhos, próprias para IoT. A avaliação do consumo

de energia além de estudar novas formas de conservação de energia também são outros tópicos a serem estudados nos próximos trabalhos.

REFERÊNCIAS

- [1] Jayavardhana Gubbi et al, Future Generation Computer Systems. (2013).
- [2] Y. Yu, J. Wang, G. Zhou, The exploration in the education of professionals in applied Internet of Things Engineering, in: 4th Int. Conf. Distance Learn. Educ., IEEE, 2010: pp. 74–77. doi:10.1109/ICDLE.2010.5606038.
- [3] Y.H.Y. Huang, G.L.G. Li, Descriptive models for Internet of Things, in: Int. Conf. Intell. Control Inf. Process., IEEE, 2010: pp. 483–486. doi:10.1109/ICICIP.2010.5564232.
- [4] I.F. Akyildiz, J.M. Jornet, The Internet of nano-things, IEEE Wirel. Commun. 17 (2010). doi:10.1109/MWC.2010.5675779.
- [5] J. Ruiz-de-Garibay, T. Campo, M. Alvarez, A. Ayerbe, Flexible and agile architecture for Internet of Things gadgets, 2011 IEEE Int. Conf. RFID-Technologies Appl. (2011) 50–55. doi:10.1109/RFID-TA.2011.6068615.
- [6] H. Ning, L. Hong, Cyber-Physical-Social Based Security Architecture for Future Internet of Things, Adv. Internet Things. 02 (2012) 1–7. doi:10.4236/ait.2012.21001.
- [7] A.M. Alberti, Internet of Things: Perspectives , Challenges and Opportunities Dhananjay Singh Future Internet Ingredients, in: Int. Work. Telecommun. - IWT, 2013.
- [8] M. Gigli, Internet of Things: Services and Applications Categorization, Adv. Internet Things. 01 (2011) 27–31. doi:10.4236/ait.2011.12004.
- [9] T. Mohamadi, Real Time Operating System for AVR Microcontrollers, in: 2011 9th East-West Des. Test Symp., IEEE, Sevastopol, 2011: pp. 376–380. doi:10.1109/EWDTS.2011.6116595.
- [10] T.N.B. ANH, S.-L. TAN, Survey and performance evaluation of real-time operating systems (RTOS) for small microcontrollers, Micro, IEEE. PP (2009) 1.
- [12] M. Samek, Practical UML Statecharts in C/C++: Event-Driven Programming for Embedded Systems, 2nd ed., CRC Press, 2008.
- [13] M. Nahas, Implementation of highly-predictable time- triggered cooperative scheduler using simple super loop architecture, Int. J. Electr. Comput. Sci. 11 (2011) 33–38.
- [14] M. Collina, G. Corazza, A. Vanelli-coralli, Introducing the QEST broker: Scaling the IoT by bridging MQTT and REST, (n.d.).
- [14] Amanda Silva, Edielson Frigieri, Gabriel Scarpioni, Samuel Pereira, EventOS - Completo [online]. Brasil: Instituto Nacional de Telecomunicações, 2015 Disponível em: <https://eventos.codeplex.com>.

Inclusão Digital para Deficientes Visuais Utilizando Plataformas Móveis

Gleyciane Aparecida Brandão

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
gleycianebrandao@gec.inatel.br

Natalia Horrana Melo Pereira

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
nataliap@gec.inatel.br

Renzo Paranaíba Mesquita

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
renzo@inatel.br

Resumo—Este artigo tem por finalidade apresentar diferentes ferramentas e funcionalidades oferecidas para deficientes visuais acessar as redes sociais, pelas três maiores plataformas móveis do momento (Android, X iOS e Windows Phone X). A importância da inclusão digital e seus benefícios serão citados no artigo.

Palavras chave—Deficientes físicos, facebook, inclusão digital, plataformas, redes sociais.

I. INTRODUÇÃO

Segundo o Censo Demográfico de 2010 do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o Brasil possui cerca de 45,6 milhões de pessoas que possuem algum tipo de deficiência física. Este número representa 23,9% da população do país [1]. Dentre todas as deficiências apontadas, a de maior destaque foi a visual, seguida da deficiência motora.

A figura 1 ilustra as informações obtidas.

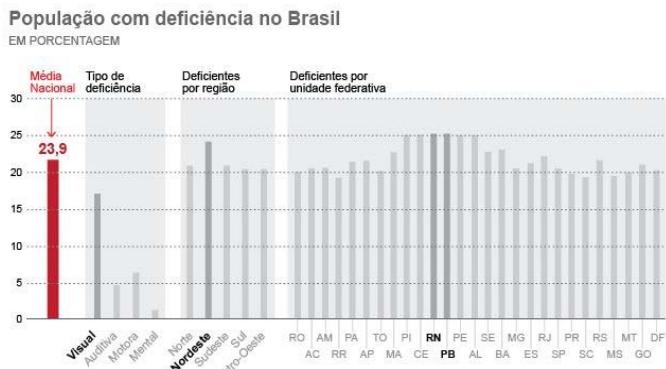


Figura 1. População com Deficiência no Brasil [1]

Visando melhorar a qualidade de vida destas pessoas e tentando atingir um maior número de deficientes, o estudo foi feito baseado nas pessoas com problemas visuais.

Diante deste cenário, a tecnologia possui um papel significativo, podendo proporcionar a essas pessoas, novas oportunidades de independência e autoestima, trabalhando não só um contexto científico, mas também social.

II. INCLUSÃO DIGITAL

Os direitos humanos básicos são ainda rotineiramente negados, alguns nem são vistos como importantes, como o acesso a redes sociais, sendo que o *Facebook* (rede social mais usada, a qual será feita referência) atinge em torno de 89 milhões de usuários no Brasil (informações referentes ao segundo trimestre de 2014) [3] e que, com certeza, um número mínimo ou quase inexistente são de pessoas especiais e nenhuma pesquisa oficial foi feita sobre esses números até hoje.

Esta baixa incidência de pessoas com deficiência visual que se identificam com as redes sociais é precária devido à usabilidade não favorecerem.

Quando se fala em inclusão digital logo vem à mente as pessoas com as mais variadas deficiências acessando a internet. Pois bem, inclui-se neste contexto também a possibilidade de pessoas especiais conseguirem ter uma vida digital ativa, não em relação a sites apenas.

É responsabilidade da sociedade, fazer valer a igualdade de condições para a cidadania e ser respeitada em qualquer momento. Logo é dever de todos prover a acessibilidade, e assim democratizar o acesso a redes sociais e o acesso WEB, mesmo o último sendo mais comum.

A. Quais os benefícios da Inclusão Digital?

Pessoas com deficiência visual sofrem frequentemente com a falta de convívio com os demais. A preocupação sempre girou em torno da inclusão social sim, mas no que diz respeito à mobilidade na maioria das vezes e a inclusão digital é vista secamente como o acesso Web restrito a pouquíssimos sites.

A pessoa que possui dificuldades visuais severas, e qualquer outra pessoa com debilidade em algum aspecto já se sente “excluída” muitas das vezes, e a inclusão digital deve abranger as redes sociais por esse motivo, e permitir que a própria pessoa consiga se comunicar e fazer postagens no *facebook*, por exemplo, para se sentir o que ela realmente é: uma pessoa como as outras.

III. PROPOSTA DE INCLUSÃO DIGITAL

Há um grande número de plataformas de *smartphones* disponíveis no mercado, incluindo *iOS*, *Android* e *Windows Phone*, e decidir qual usar pode ser uma tarefa difícil, para complicar ainda mais estas plataformas estão em constante evolução, o que dificulta acompanhar seu avanço.

Para competir com o sucesso no mercado de software, as aplicações móveis devem ser testadas e implementadas em várias plataformas para agradar a todos os usuários. As empresas produtoras destas aplicações gastam quantidades substanciais de tempo, esforço e dinheiro para portar aplicativos em várias plataformas.

Com isso foi necessário à realização de um estudo sobre *Android*, *iOS* e *Windows Phone*, para que a mais viável fosse escolhida. A seguir, um descritivo explicando cada plataforma e suas principais características.

A. iOS

iOS é o sistema operacional da *Apple Inc.* que alimenta todos os seus dispositivos móveis. Ele foi projetado como um sistema operacional para dispositivos *touch screen* e baseado no *kernel* do Mac OS X.

O Kit de Desenvolvimento de *Software iOS* (SDK) foi lançado em 2008 e permite que os desenvolvedores criem seus aplicativos para *iPhone*, *iPad*, *iPod* entre outros. No mesmo ano foi introduzido a *AppleStore* onde os desenvolvedores podem publicar seus aplicativos e os usuários possam fazer download dos apps.

A.I - Objective C

Objective C é uma linguagem de programação orientada a objetos, que é usado para o desenvolvimento de aplicações para *iOS*. É uma camada fina construída sobre a linguagem C

É possível compilar qualquer programa C com um compilador *Objective-C*, ele faz a passagem de mensagens no estilo *Smalltalk*. *Objective-C* não suporta sobrecarga de métodos e também não permite herança múltipla.

A.II – Xcode

Xcode é ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) da Apple para escrever aplicativos para *iOS* e *Mac OS X*. Possui um conjunto de ferramentas de desenvolvimento e documentação abrangente. *Xcode* compila aplicações *iOS* para funcionar em processadores baseados em ARM, que são utilizados em todos dispositivos *iOS*.

Uma das características interessantes do *Xcode* é que permite a distribuição de aplicações com vários computadores em rede, um recurso conhecido como *Dedicated Network Build*.

A.III - Interface Builder

A interface *Builder* é uma das ferramentas presentes no *Xcode* e permite aos desenvolvedores criarem aplicações de interação com o usuário (GUI).

A.IV - Instruments

Instruments é uma ferramenta que analisa o desempenho de um aplicativo *iOS*, ela usa a estrutura de rastreamento *DTrace*. Ela mostra qualquer evento que ocorra no aplicativo, como a variação da atividade da CPU, alocação de memória e de rede, juntamente com gráficos e estatísticas. É uma ferramenta essencial para o desenvolvedor garantir que a sua aplicação *iOS* é otimizada para o usuário.

A.V - iOS Simulator

Com o simulador *iOS* é possível executar um aplicativo *iOS* em um computador Mac. O simulador *iOS* pode abranger dispositivos *iPhone* e *iPad* com diferentes versões do *iOS*. A vantagem desta ferramenta é que o desenvolvedor pode fazer o teste iterativo rápido e as modificações podem ser feitas antes de implantá-lo para um dispositivo real. Ele também fornece um modo para assegurar que a maioria dos *bugs* sejam eliminados antes de ser implantado e executado pela primeira vez em um dispositivo. O simulador *iOS* oferece a capacidade de simular ações específicas, como rotacionar o dispositivo, no entanto, não têm a capacidade de simular as leituras do acelerômetro ou imagens capturadas a partir da câmera.

B. ANDROID

A plataforma *Android* é desenvolvida e mantida pela *Open Handset Alliance*, que é liderada pelo Google. *Android* está disponível como uma plataforma móvel de código aberto sob a licença GNU (GNU is Not Unix) e a Licença Apache 2.0, isso permite que qualquer um que deseje, possa baixar e personalizar seu código fonte para uso próprio, sem pagamento de quaisquer taxas de licenciamento ou royalties. No entanto, quaisquer alterações à plataforma central são rigidamente controladas pela *Open Handset Alliance* e precisam ser aprovados pelo Google.

B.I – Arquitetura

Android é uma plataforma baseada em Linux e usa o *kernel* do Linux com uma interface de usuário baseada na manipulação direta. O *Android* é projetado principalmente para dispositivos móveis que possuem *touchscreen*, como *smartphones* e computadores.

Aqui, vamos dar uma olhada nos vários componentes do sistema, que formam a plataforma central.

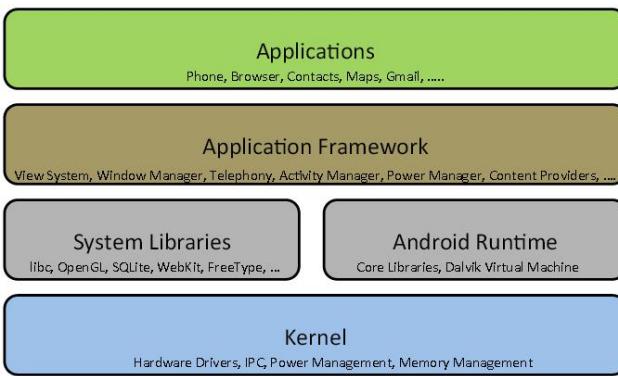


Figura 2 – Arquitetura [15]

B.II – Kernel

O *kernel* do *Android* está baseado na versão 2.6 do *kernel* Linux. Ele contém a camada de abstração de hardware e oferece drivers para a exibição, toque de entrada, redes, gerenciamento de energia e armazenamento. Ele também contém componentes para gerenciamento de memória e comunicação entre processos entre outras funcionalidades de baixo nível.

Um recurso ainda controverso introduzido no *kernel* do *Android* é o conceito de *WakeLocks*. O *wakelock* pode ser usado para forçar um dispositivo a entrar em um estado de baixa energia. É principalmente usado por aplicativos e serviços para solicitar recursos da CPU. *Android* utiliza seu mecanismo de propriedade da comunicação entre processos e invocação de método remoto com o chamado *Binder*. *Binder* não só facilita a comunicação entre processos, mas também lida com gerenciamento de memória associada e gestão do ciclo de vida de objetos que são compartilhados entre processos. *Android* também fornece a capacidade de matar os processos que estão em execução com pouca memória. O interessante é que o sistema operacional não espera para executar o processo sem memória, mas termina-os de forma agressiva antes de entrar em uma situação de falta de memória.

B.III - Runtime Android

O *Dalvik Virtual Machine* (VM) é o componente de tempo de execução do núcleo do *Android*. É uma máquina virtual baseada em processo que utiliza a arquitetura de registro e é otimizado para o baixo consumo de memória e melhor eficiência de desempenho. O *Dalvik* é executado em cima do *kernel* do *Android* e usado para funções de baixo nível, tais como *multi-threading* e gerenciamento de memória. Aplicações em *Android* são escritas em um dialeto do Java, que é compilado em *bytecode* e armazenados como Java Virtual Machine (JVM). No entanto, existem grandes diferenças entre APIs de Java padrão e as APIs do *Android* e da JVM. A principal diferença é a ausência de *Abstract Window Toolkit* (AWT) e bibliotecas de *Swing* do *Android*. Os arquivos de classe compatível JVM são convertidos em *Dalvik Executable* (DEX) arquivos que são executadas pelo *Dalvik VM* quando o aplicativo é executado em um dispositivo *Android*. A versão atual do *Dalvik* também inclui um

compilador *Just-In-Time (JIT)* que melhora o desempenho em tempo de execução. Cada aplicativo *Android* é executado dentro da sua própria instância do *Dalvik VM*, que por sua vez é executado como um processo do *kernel* gerenciado. O sistema operacional *Android* é projetado para garantir que várias instâncias da VM pode ser executado ao mesmo tempo sem afetar a experiência do usuário.

B.IV - Framework

A estrutura do aplicativo *Android* oferece uma API de alto nível para que os desenvolvedores de aplicativos busquem referência dos vários recursos da plataforma. O *System View* fornece os blocos de construção básicos para criar a interface de usuário de um aplicativo. Um objeto *View* no *Android* representa uma região retangular da tela do dispositivo e é responsável por todas as tarefas de processamento e manipulação de eventos dentro daquela região. Elementos visuais da interface do usuário no *Android* são chamados *Widgets* e são derivados da classe *View*. Os desenvolvedores também podem criar seus próprios *widgets* personalizados. A subclasse *ViewGroup* é a classe base para layouts que são essencialmente containers que encapsulam outros objetos *View* e determinam a sua disposição na tela em termos de posição, espaçamento e orientação. Todos os pontos de vista dentro da mesma janela estão organizados hierarquicamente em uma estrutura de árvore e são armazenados em formato XML. O leitor pode navegar através de uma rica coleção de pontos de vista e *widgets*.

O componente *ContentProvider* permite que aplicativos acessem e compartilhem dados em outras aplicações. A classe *ContentProvider* permite que um aplicativo possa publicar seus dados para o acesso de outros aplicativos. A informação é fornecida através de uma única interface *ContentResolver*. Quando um pedido de dados é feito através desta interface, ele verifica sua validade e passa para o *ContentProvider* apropriado. Para obter detalhes sobre como criar provedores de conteúdo, gerenciar dados e consultá-los.

Um dos principais pontos fortes da interface do usuário do *Android* tem sido o seu sistema de gestão de notificação por meio do qual qualquer aplicativo pode notificar o usuário sobre eventos específicos quando eles ocorrem. Esse recurso é tratado pela classe *NotificationManager*, que permite que um aplicativo possa emitir notificações na forma de um ícone na barra de status, piscar os LEDs de dispositivo ou a luz de fundo da tela do dispositivo ou tocando um som ou vibração do dispositivo. Opcionalmente, se um usuário clicar no ícone de uma notificação, ações específicas de aplicações pode ser executado.

O *Android Resource Manager* fornece uma maneira de separar recursos estáticos a partir do código do aplicativo. Esses recursos podem ser animações, layouts, cordas e até mesmo arquivos de imagem. Um desenvolvedor pode utilizar esse recurso para personalizar o aplicativo com base no tipo de dispositivo. Qualquer recurso é acessível dentro do código, usando seu nome de pacote, tipo de resource e nome do resource na seguinte sintaxe: <nome do pacote>, <resource_type> <resource_name>, onde resource_type é definido a partir de uma lista pré-determinada de valores

especificados pelo Android. Utilizando *resource* também ajuda os desenvolvedores na manutenção e atualização de seus aplicativos de uma forma eficiente. Você pode aprender sobre como gerenciar e acessar recursos em um aplicativo Android, incluindo *run-time*.

Um importante fator de venda para a plataforma Android tem sido as suas capacidades de mapeamento, amparada pela disponibilidade de aplicativos gratuitos de alta qualidade *turn-by-turn* de navegação e mapas, como o Google *maps*

. The *LocationManager* fornece acesso aos serviços de localização disponíveis para os desenvolvedores. O Android também fornece classes específicas, tais como *GpsSatellite* e *GpsStatus* para acessar ao mecanismo GPS subjacente que determina a localização do dispositivo a partir do Sistema de Posicionamento Global (GPS), utilizando o protocolo NMEA.

A classe *InputMethodManager* permite aos desenvolvedores implementar os seus próprios teclados personalizados.

A classe *TelephonyManager* fornece aplicações com a capacidade de determinar os serviços de telefonia dos dispositivos e as informações do assinante específico de acesso. O Android suporta GSM e CDMA tecnologias e aplicações de telefonia celular para acessar informações específicas a estas tecnologias, dependendo do dispositivo. O *SMSManager* permite que os aplicativos enviem dados e mensagens de texto usando o protocolo *Short Message Service* (SMS).

A classe *PowerManager* fornece aplicações com a capacidade de controlar o estado do dispositivo de poder e usar um recurso chamado WakeLocks (definido pela *PowerManager.WakeLock.class*) que obriga um dispositivo a permanecer ligado e não entrar em modo de economia de energia. Este recurso usado sabiamente pode proporcionar uma experiência de usuário superior, garantindo que a interface do aplicativo seja sensível às ações do usuário. No entanto, o uso indevido deste recurso pode levar a baixa autonomia de bateria no dispositivo e, portanto, os desenvolvedores devem avaliar cuidadosamente os seus requisitos.

B.V - Developing Android Applications

Os aplicativos do *Android* são escritos em Java, no entanto, eles são executados pelo *Dalvik Virtual Machine* (VM). Mesmo o Java sendo a linguagem de programação, o Android não é totalmente compatível com o padrão Java devido a grandes diferenças, especialmente na aplicação de interface de usuário *libraries*. Cada aplicativo é executado em um ambiente de modo seguro com a sua própria instância de uma VM *Dalvik*, que, por sua vez, é executado dentro de seu próprio processo de gestão kernel. Um aplicativo Android é instalado como um único arquivo do tipo *Package* Android (extensão:apk), que contém o código compilado juntamente com os dados e arquivos.

B.VI - Kit de desenvolvimento de software do Android

Atualmente, o SDK é suportado pelo Windows, Mac OS X e sistemas operacionais Linux. Um ambiente de desenvolvimento (IDE) para o desenvolvimento do Android é o Eclipse com os plugin *DevelopmentTools* Android (ADT).

O plugin ADT amplia os recursos do IDE Eclipse e fornece uma maneira fácil de criar projetos para Android, depuração e testes.

B.VII - Depuração E Testes

Para aplicações de depuração, os desenvolvedores podem usar qualquer Java *DebugWire Protocol* (JDWP) depurador compatível. No entanto, se o Eclipse já vem com seu próprio depurador compatível JDWP que deve funcionar de forma satisfatória para a maioria dos desenvolvedores. O SDK vem com a ferramenta *Android Debug Bridge* (ADB), que pode ser utilizado tanto para a depuração no dispositivo e para depurar aplicativos em execução no emulador do dispositivo de software utilizando uma configuração de dispositivos *AndroidVirtual*. O Android *Debug Bridge* facilita a comunicação entre o dispositivo ou emulador e a máquina de desenvolvimento e também é usado para instalar o aplicativo no dispositivo. O *Dalvik Debug Server Monitor* (DDMS) é executado na máquina de desenvolvimento e se conecta ao *Android Debug Bridge*. Ele também fornece uma interface gráfica que mostra informações sobre a execução de fios e a pilha de chamadas e também auxilia no processo da depuração, permitindo a captura de tela, as chamadas recebidas e eventos através de SMS.

O teste no Android é baseado em JUnit, o quadro de teste de unidade Java. A maneira mais fácil de testar aplicativos Android é usar o plugin ADT Eclipse, que é capaz de criar e construir pacotes de teste dentro do Eclipse. A API *Testing* Android inclui uma plataforma de instrumentação, que fornece ganchos, que permitem acesso direto aos métodos do sistema que controlam o ciclo de vida de um componente. Isso permite que o desenvolvedor controle o ciclo de vida de um componente específico de forma independente. Em termos de recursos de aplicativos que devem ser testados, o Google recomenda que os desenvolvedores devem garantir que a sua aplicação reaja da forma esperada durante a mudança de orientação do dispositivo. O impacto sobre a vida da bateria deve ser especialmente testado exaustivamente, uma vez que o kernel do Android fornece a funcionalidade *WakeLock* que se for mal utilizado pode esgotar severamente a bateria do dispositivo.

C - WINDOWS PHONE

Windows Phone é o sistema operacional móvel da Microsoft que concorre com outras plataformas móveis modernas, como iOS e Android, citadas acima.

O *Windows Phone*, foi revelado no inicio de 2010, marcando uma ruptura importante com o seu antecessor, o *Windows Mobile*, abrangendo as mais novas tecnologias de

dispositivos móveis e a encarar os mais novos conjuntos de recursos de sistemas operacionais concorrentes.

C.I - Metro UI

A linguagem de *design*, de codinome Metro, é utilizada como base para a interface de usuário do *Windows Phone*. O Metro UI ecoa o tipo de simplicidade encontrada em sinalização linguagem visual. É também uma parte essencial do Windows 8 e está posicionado para orientar o desenvolvimento da interface do usuário em todos os produtos de consumo da Microsoft.

C.II - Plataforma E Arquitetura

Windows Phone consiste de quatro camadas, tal como mostrado na Figura 3. As candidaturas estão rodando em cima do *kernel* do sistema operacional, as bibliotecas de base comuns e frameworks de aplicação. Silverlight e XNA são os dois quadros atualmente disponíveis para Windows Phone.

C.III - O kernel

O *Windows Phone 7* é baseado nos Kernel do *Windows Embedded CE 6.0 R3*, com funcionalidades e recursos adicionais incorporados em cima da plataforma. Todos os drivers necessários, sistemas de arquivos de rede, gráficos / renderização, e o sistema de atualização do telefone são executadas no espaço do *kernel*. No futuro, o *Windows Phone* pode ser executado no mesmo kernel do que a versão PC e tablet do Windows.

C.IV - I/O

Aplicativos do *Windows Phone* não tem acesso direto ao sistema de arquivo do kernel subjacente. Todas as operações I/O estão restritas ao armazenamento isolado, que é um mecanismo de armazenamento de dados que fornece isolamento e segurança, associando código exclusivamente com dados salvos. Uma aplicação não pode acessar o armazenamento isolado do outro. Um aplicativo do *Windows Phone* pode usar o armazenamento isolado das seguintes maneiras:

- Configurações (*IsolatedStorageSettings*): para armazenar pares de chave / valor simples;
- Arquivos / pastas (*IsolatedStorageFile*): para armazenar dados através de arquivos e criação de pasta;
- Os dados relacionais (LINQ to SQL): para armazenar dados relacionais em um banco de dados local.

C.V – Mídia

O *Windows Phone* fornece um modelo de programação rica ao usuário que pode incorporar gráficos, animações e mídia.

A biblioteca de mídia suporta uma variedade de *codecs* de mídia e permite o acesso aos meios de comunicação disponíveis no dispositivo. O controle *MediaElement* pode armazenar clips de áudio ou vídeo e permite o controle total

de jogo de um jogador, parar, pausar e buscar comportamento, bem como fluxo de *buffering*, baixar progresso e controle de volume.

C.VI – Tasking

Semelhante ao conceito isolado de armazenamento, os aplicativos do *Windows Phone* não tem acesso direto aos aplicativos integrados no dispositivo. *Launcher* e *Chooser* fornecem uma maneira indireta de um aplicativo para chamar outro. O *Launcher* é um API para lançar uma funcionalidade *built-in* para realizar alguma tarefa. Um exemplo simples é *PhoneCallTask*, que pode ser usado para fazer uma chamada de telefone a partir de um aplicativo. *Chooser* é uma API para realizar uma tarefa e voltar os dados que são escolhidos pelo usuário para um aplicativo. Por exemplo, *PhoneNumberChooserTask* é usado para escolher o número de telefone de um contato.

C.VII - Linguagens e Frameworks

Os desenvolvedores têm duas linguagens de programação para escrever aplicativos do *Windows Phone*: C # e *Visual Basic .NET* (VB.NET). C # é uma linguagem moderna de programação orientada a objeto introduzido pela Microsoft em 2000. Seu projeto inicial foi altamente inspirado em Java. Além das diferenças sintáticas, C # e VB.NET são igualmente poderosas para programação de *Windows Phone*.

C.VIII - Development Tools

Diversas ferramentas de desenvolvimento e IDE estão disponíveis para desenvolvimento de aplicações *Windows Phone*.

C.VIII.A - Visual Studio

O *Visual Studio* IDE é da Microsoft para que os desenvolvedores criem aplicativos *Silverlight* ou XNA para *Windows Phone*. Ele pode ser usado para criar, desenvolver, depurar e para gerar os manifestos de pacotes. Além da versão paga, a Microsoft oferece uma versão gratuita chamada *Visual Studio Express* para *Windows Phone*. A ferramenta de análise de desempenho dentro do *Visual Studio* permite que os desenvolvedores descubram onde o programa está gastando mais seu tempo e recursos, o que ajuda os desenvolvedores a analisar e otimizar seu código.

C.VIII.B - A Expression Blend

O *Expression Blend* para *Windows Phone* é um ambiente integrado de design que permite que os designers criem aplicações de interfaces para *Windows Phone* baseado em XAML. Ele compartilha a mesma estrutura do projeto com o *Visual Studio*, que permite fácil a colaboração entre designers e desenvolvedores.

C.VIII.C - Windows Phone EMULATOR

O *Windows Phone Emulator* está integrado tanto no *Visual Studio* quanto no *Expression Blend*. É totalmente compatível com a implantação de aplicativos, depuração e execução. Ele suporta emulação GPU, múltiplos pontos de contato (pitada e zoom em vários monitores sensíveis ao toque), emulação de câmera e GPS e sensores de acelerômetro de emulação. Ele também emula vários comportamentos de telefone, como fazer uma chamada e enviar uma mensagem SMS.

IV. CASE ANDROID

Até os dias de hoje, vários aplicativos foram desenvolvidos para pessoas com deficiência e, especialmente, para os deficientes visuais. Uma das aplicações desenvolvidas e que pode servir como um case exemplo são aplicações focadas em guiar pessoas pela detecção de obstáculos no ambiente circundante. Esta aplicação utiliza o GPS, Wi-Fi e 3G combinado com os mapas do Google, a fim de informar a pessoa com deficiência visual por meio de mensagens sonoras gravadas em pontos de interesse próximos ao que ela se encontra. Tendo o usuário final em mente a aplicação suporta atualizações automáticas e não requer qualquer configuração adicional. O desenvolvimento foi feito sob a plataforma Android [12].

V. CASE iOS

Um dos *cases* que pode ser citado é um *app* que auxilia os deficientes visuais de todo o mundo, que receberão ajuda de outros usuários que conseguem enxergar.

O foco desta aplicação é ajudar os deficientes visuais com tarefas comuns do dia a dia, como verificar a data de validade de produtos, atravessar a rua ou descobrir mais sobre o local em que ele está.

O cadastrado na rede de voluntários recebe uma notificação da pessoa deficiente visual e, se ele estiver disponível e aceitar, a conexão é feita e a chamada começa. Como se fosse o Skype, o voluntário vai falar o que aparecer na tela. Até agora, o “*Be My Eyes*”, como foi denominado, tem mais de 60 mil voluntários cadastrados para cerca de 5 mil deficientes visuais. Ao todo, já foram mais de 10 mil ajudas, de acordo com dados do site oficial do aplicativo[4].

Este *app* é disponível ainda apenas para iOS e exige uma boa conexão Wi-Fi ou 3G/4G, pois o pedido de "socorro" é feito por uma vídeo chamada.

VI. CASE WINDOWS PHONE

Até o momento, existem telefones desenhados especificamente para deficientes visuais, mas dispõem de poucas aplicações, são incômodos e cheios de aparatos. O objetivo do *case* citado anteriormente é que estas pessoas possam utilizar qualquer um dos modernos celulares que estão no mercado somente colocando sobre eles uma capa ou plástico com relevo no qual apareçam os pontos que se costuma utilizar em braile. Assim, pode-se utilizar o

dispositivo somente com o tato, já que o programa desenvolvido na Universidade Pontifícia Católica (PUC) funciona como um teclado em braile. O sistema serviria para qualquer telefone que levasse Windows Phone. Para comprovar que não existem erros, o programa inclui um botão denominado “*Speak*”, que no caso de dispor de uma conexão à Internet, serviria para ler ao usuário o que foi digitado. Este *app* foi denominado *eyeTouch* [14].

VII. RESULTADOS

O Android, como sistema operacional mais viável para desenvolvimento, possibilita as seguintes vantagens: Para usar o *Android*, você pode escolher o hardware que mais lhe agradar, fabricado por pelo menos 5 grandes nomes da indústria tecnológica, incluindo Samsung, Motorola e LG. A SDK – kit para desenvolvedores – do Android foi feita para funcionar em Windows, Linux e até mesmo no Mac. Por se tratar de um sistema operacional livre, de código aberto, a comunidade de desenvolvimento é amigável e receptiva, a documentação é ampla e a plataforma é democrática justamente por abranger usuários de diversos sistemas operacionais.

Uma solução encontrada foi a de criar um aplicativo em que o deficiente pudesse utilizar a rede social “Facebook” através de comandos de voz, como por exemplo, atualizar seu *status* apenas dizendo o que deseja postar.

VIII. CONCLUSÕES

Com a comparação feita entre as plataformas foi possível chegar à conclusão que o Android se destaca sobre os outros sistemas operacionais. A SDK do *iPhone* está disponível para usuários Mac e para publicar os softwares na loja de aplicativos da Apple é preciso comprar as permissões do sistema e pagar uma boa quantia, logo não se torna tão viável. A Google Play tem mais de 700.000 *apps* disponíveis contra 120.000 *apps* do *Windows Phone Store*. Como a escolha foi o sistema operacional *Android* o foco passou a ser em uma ferramenta que auxiliasse deficientes visuais, pensando em sua inclusão digital e social.

Com as pesquisas feitas nos *cases* existentes foi possível verificar que os *apps* disponíveis não focam na parte de inclusão digital de deficientes, logo foi pensado em um *app* em que deficientes visuais pudessem se relacionar em redes sociais como o facebook.

A integração nas redes sociais pode proporcionar desenvolvimento social, econômico, político, cultural, ambiental e tecnológico e foi pensando nesta questão que o trabalho foi desenvolvido e desta forma percebe-se uma necessidade de ampliar facilidades para o acesso direto as redes sociais que de forma completa e multidisciplinar ajuda na qualidade de vida dessas pessoas.

REFERÊNCIAS

- [1] G1, em São Paulo (27/04/2012). Disponível: <<http://g1.globo.com/brasil/noticia/2012/04/239-dos-brasileiros-declararam-ter-alguma-deficiencia-diz-ibge.html>>. Acessado em 15 de Dez. De 2014.
- [2] Marcos Roberto Haddad Camolesi. O direito de inclusão da pessoa portadora de deficiência à luz da legislação brasileira. (03/2004). Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/4928/o-direito-de-inclusao-da-pessoa-portadora-de-deficiencia-a-luz-da-legislacao-brasileira#ixzz3RQttQ4ji>>. Acessado em: 19 de Dez. de 2014.
- [3] Redação Olhar. 89 milhões de brasileiros acessam o Facebook (21/08/2014). Digital Disponível: <<http://olhardigital.uol.com.br/noticia/89-milhoes-de-brasileiros-acessam-o-facebook/43687>>. Acessado em 15 de Dez. De 2014.
- [4] Site Oficial Be My Eyes. Disponível: <<http://www.bemyeyes.org/>>. Acessado em: 01 de Mar. De 2015.
- [5] Be My Eyes, app para iOS auxilia deficientes visuais com as tarefas do dia a dia (21.01.2015). Disponível: <<http://canaltech.com.br/noticia/apps/Be-My-Eyes-app-para-iOS-auxilia-deficientes-visuais-com-as-tarefas-do-dia-a-dia/>>. Acessado em: 01 de Mar. 2015.
- [6] iOS 8. Disponível: <<http://www.apple.com/ios>>. Acessado em: 05 de Jan. de 2015.
- [7] Site Oficial Android, Layouts. Disponível: <<http://developer.android.com/resources/tutorials/views/index.html>>. Acessado em: 10 de Jan. de 2015.
- [8] Terra Tecnologia, Aplicativos possibilitam acessibilidade dos deficientes visuais aos smartphones e tablets. Disponível: <<http://www.saudevisual.com.br/noticias/624-apps-acessiveis>>. Acessado em: 01 de Mar. 2015.
- [9] Site Oficial Apple. Disponível: <<http://www.apple.com/br/accessibility/osx/voiceover/>>. Acessado em: 01 de Mar. de 2015.
- [10] Engelsma, J.; Dulimarta, H. 8 Reasons Why You Should Use Mobile Platforms in Your CS Courses. Published on: Information Technology: New Generations (ITNG), 2011 Eighth International Conference on (11-13 April 2011). Pp 245 – 250. Disponível: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5945241&queryText%3Dprogram+for+ios+reasons>>. Acessado em: 01 de Mar. de 2015.
- [11] PIOTR, SKULIMOWSKI; PIOTR, KORBEL POI Explorer – A Sonified Mobile Application Aiding the Visually Impaired in Urban Navigation. Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems pp. 969–976. Disponível: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6933121&queryText%3Dapplication+for+the+visually+impaired>>. Acessado em: 20 de Out. De 2014.
- [12] Soukaras, D.P.; Chaniotis, I.K. ; Karagiannis, I.G. ; Stampoglou, I.S. ; Triantafyllou, C.A. ; Tselikas, N.D. ; Foukarakis, I.E. Argumented Audio Reality Mobile Application Specially Designed for Visually Impaired People. Published in: Informatics (PCI), 2012 16th Panhellenic Conference on. Disponível: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6377360&queryText%3Dmobile+application+for+the+visually+impaired>>. Acessado em: 10 de Out. De 2014.
- [13] Holder, E.; Shah, E. ; Davoodi, M. ; Tilevich, E. Cloud Twin: Native execution of android applications on the Windows Phone. Disponível: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=6693119&queryText%3Dhow+to+program+for+windows+phone>>. Acessado em: 01 de Marc. de 2015.
- [14] Andrés ,José Pichel, Aplicativo permitirá que deficientes visuais utilizem celulares ‘touch screen’. Disponível: <<http://www.dicyt.com/noticia/aplicativo-permitira-que-deficientes-visuais-utilizem-celulares-touch-screen>>. Acessado em 01 de Fevereiro de 2015.
- [15] Helal Sumi, Bose Raja, Li Wendong, Mobile Platforms and Development Environments. Disponível: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6813738&sortType%3Dasc_p_Sequence%26pageNumber%3D68490%26rowsPerPage%3D50>. Acessado em 10 de Out de 2014.

Medidor de Taxa de Erro de Bits com Protocolo de Interconexão AXI4 Lite

Matheus Costa de Souza

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
matheussouza@get.inatel.br

Antônio Marcos Alberti

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
alberti@inatel.br

Pavel Suene Félix Lopes

Teixeira

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
pavel.suene@gec.inatel.br

Resumo—O artigo descreve o processo de criação de um medidor de taxa de erro de bit (BERT) utilizando um kit NetFPGA-10G. A utilização de FPGA para medir BER representa uma solução de baixo custo, que serve também como referência de estudos mais avançados com esse kit. Será abordada também a importância dos protocolos de interconexão *on-chip*.

I. INTRODUÇÃO

A. Motivação

A necessidade de sistemas de comunicação mais eficientes tem levado ao desenvolvimento de equipamentos com desempenho cada vez maiores, tornando-se, então, necessário dispositivos de medição que acompanhem essa tendência.

Dentre as medidas de desempenho de um sistema a técnica de detecção de taxa de erro de bit (BER), por hardware, é das mais utilizadas na comunicação porque nos permite não só a detecção de erros, mas também gerar um diagnóstico do sistema.

Do ponto de vista de desempenho, a infraestrutura de barramento *on-chip* é um ponto chave nesse tipo de projeto, uma vez que os requisitos de performance dos circuitos já não podem ser resolvidos totalmente com o aumento da frequência de clock pois o gargalo é inerente à infraestrutura de barramento, além disso, a estrutura proposta neste trabalho permite também uma ligação direta entre os componentes sem a necessidade de criação de mecanismos complexos [1] [2].

Os motivos citados acima nos motivaram a desenvolver neste trabalho um medidor de taxa de erro de bits cujo barramento de dados é baseado numa arquitetura de alto desempenho para altas frequências e baixa latência. Ao final apresentaremos um core que mede BER e se conecta através de AXI4 Lite com um processador embarcado em fpga.

B. BER

Taxa de erro de bits (BER) é a medida da razão entre a quantidade de bits recebidos com erro e a quantidade total de bits transmitidos em um dado sistema.

Um sistema de telecomunicações digital é composto por uma fonte que transforma a informação a ser transmitida em uma sequência de bits, codifica e, em alguns casos modula esse sinal de forma a adaptá-lo ao canal de transmissão. O canal, por sua vez, é o meio físico, por exemplo, o ar, cabo ou fibra óptica, por onde a informação é transmitida, e tem como característica implícita perturbações no sinal como ruído, atenuação e distorção, que podem ocasionar em perda de informação. Por fim, o sinal contendo a informação proveniente da fonte chega ao receptor onde é demodulado (caso tenha sofrido modulação na fonte) e decodificado.

A BER é uma medida fundamental da qualidade de um enlace de telecomunicações e em geral, é determinada pelas características de codificação da fonte, os tipos de formas de onda usadas para transmitir a informação ao longo do canal (modulação), a potência do transmissor, as características do canal (por exemplo, a quantidade de ruído, a natureza da interferência) e o método de demodulação e decodificação do receptor [3].

C. Protocolo de interconexão AXI

Para a comunicação entre os cores foram utilizados barramentos e o protocolo escolhido para a comunicação foi o AXI (Advanced eXtensible Interface) que é um protocolo muito utilizado para sistemas de interconexão de alta performance *on-chip* (SoC).

Recorremos à utilização do protocolo AXI 4 Lite por possuir algumas vantagens, dentre elas:

1) *Maior performance*: O protocolo AXI permite a utilização de um throughput máximo, menor latência, e uma combinação que permite a criação de produtos mais otimizados para diversas aplicações.

2) *Fácil de implementar*: Dada a grande gama de interfaces suportadas pelo AXI, você só precisa conhecer

uma família de interfaces, independentemente se eles são incorporados, DSP ou usuários lógicos. Isto permite uma maior integração entre diferentes domínios e também na criação de um domínio próprio.

3) Habilita o ecossistema: Parceiros estão abraçando o movimento AXI, que é aberto e composto por um padrão de interfaces muito utilizado, permitindo assim um catálogo enorme de dispositivos disponíveis, ascensão rápida no mercado e um grande poder de integração com outros dispositivos.

A utilização dos recursos fornecidos pelo protocolo AXI garante um funcionamento eficiente e confiante por utilizarem tecnologias mais atuais [6].

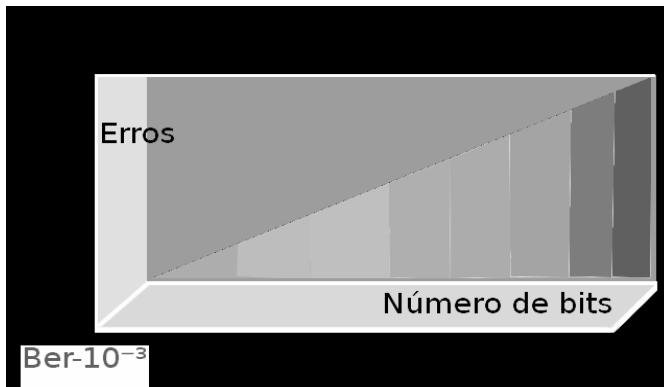
II. IMPLEMENTAÇÃO

A. Medindo o Erro

O método utilizado para medição de BER adotado neste trabalho é indicado pela ITU (União Internacional de Telecomunicações) através da Recomendação ITU-T O.150. O método consiste na geração de PRBS's (Sequências Binárias Pseudorrandômicas) que são transmitidas através do sistema em teste e posterior captura e comparação bit-a-bit da sequência recebida (possivelmente corrompida) com a sequência enviada.

As propriedades da PRBS devem satisfazer os requisitos do sistema testado. Normalmente, o comprimento de uma sequência binária pseudo-aleatória deve aumentar proporcionalmente à taxa com a qual as medições são feitas. Isso evita ter uma frequência de repetição de padrão muito alta o que não está de acordo com situações existentes na prática [4].

Fig. 1. Representação da relação entre o numero de erros e o número de bits a uma taxa de 10^{-3} .



PRBS também conhecidas como Sequências PN (Pseudo Noise) e, geralmente, são geradas por LFSR's (Linear Feedback Shift Registers), conforme mostrado na Figura 2. Esse tipo de sequência é amplamente utilizado em comunicações digitais, instrumentação e medições servindo como um padrão de referência com características aleatórias conhecidas para a análise, otimização e medição de

desempenho de canais e sistemas de comunicação, devido as suas propriedades espetrais e de correlação [5]. Um estudo aprofundado sobre sequências peseudoaleatórias requer um exaustivo tratamento matemático que foge do escopo deste trabalho.

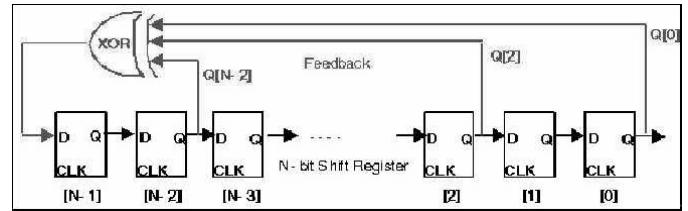


Fig. 2. Linear Feedback Shift Register.

B. Componentes

Os seguintes componentes compõem o sistema proposto:

1) Processador Microblaze Soft processor: Líder de mercado de soft processadores de FPGA, com uma arquitetura de Risc de 32 bits, altamente flexível e composta por um conjunto de instruções simples e otimizadas para aplicações embarcadas no menor custo possível. O soft processor Microblazea xilinx também tem opções de arquitetura avançadas como as interfaces AXI e o PLB, unidade de gerência de memória (MMU), cache de dados e de instruções, profundidade de pipeline configurável e unidade de ponto flutuante (FPU). No projeto proposto tem a função de ser a unidade de controle do core medidor de BER com o qual se comunica através do protocolo adotado (AXI4 Lite).

2) Core medidor de BER (BERT): Conforme citado a cima, este core é responsável pela geração, captura e sincronização de sequências PRBS para medir a BER. É o elemento principal do sistema e dada a sua importância achamos que merece um pouco mais de aprofundamento, o que faremos na seção seguinte.

C. DESCRIÇÃO DO BERT

A estrutura de medição de erro de bits proposta segue a recomendação ITU-T O.150 (citada acima) e consiste em dois módulos internos, o Gerador e o Receptor de PRBS, ambos descritos em VHDL.

O módulo Gerador é mostrado na Figura 3 e possui os seguintes sinais de comando:

CLK_EN

Habilita o sinal de clock.

PRBS_SET (Síncrono com CLK)

Quando PRBS_SET está em '1' o gerador lê o valor da entrada PRBS_TYPE e PRBY_INV.

PRBS_TYPE (Síncrono com CLK)

Vetor de entrada para seleção da sequência PRBS a ser gerada.

PRBS_INV (Síncrono com CLK)

Sinal de entrada para seleção da polaridade da sequência PRBS gerada. Quando está em '1' indica que haverá inversão dos bits do sinal de saída do gerador (TX_BIT).

ERR_INSERT (Síncrono com CLK)

Sinal de entrada para geração de erro no bit atual no sinal TX_BIT.

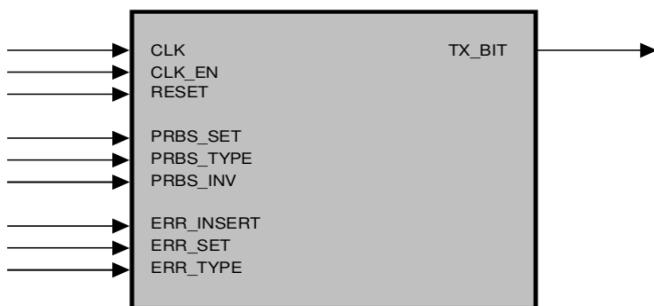


Fig. 3. Módulo Gerador de PRBS.

O módulo Receptor é mostrado na Figura 4 e possui os seguintes sinais de comando:

SYN_STATE (Síncrono com CLK)

Sinal de saída do receptor para indicar o estado de sincronização entre a sequência PRBS recebida e gerada.

Vai a '1' quando $2 * N$ bits sem erro são recebidos onde N é o comprimento da sequência PRBS recebida.

Vai a '0' quando a taxa de erro excede 0,2. Para detectar essa ocorrência, o número de erro dos últimos 128 bits recebidos é memorizado. Se ocorrer mais que 25 erros a saída vai a '0'.

BIT_ERR (Síncrono com CLK)

Sinal de saída do módulo que sinaliza um erro de bit na sequência recebida quando o receptor está sincronizado (SYN_STATE em '1'). Esse sinal possui um atraso de 128 períodos de bit devido ao procedimento de teste de sincronização descrito acima.

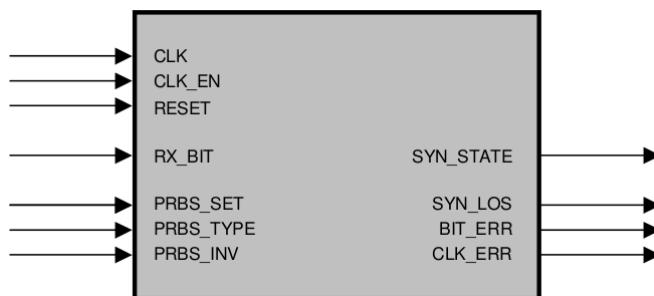


Fig. 4. Módulo Receptor de PRBS.

III. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposto o desenvolvimento de um core medidor de taxa de erro de bits, uma medida fundamental em todo sistema de comunicação digital, com barramento de dados conforme o protocolo de interconexão *on-chip* AXI4 Lite que agrega diversas vantagens de desempenho ao sistema.

Ao longo do desenvolvimento tivemos a oportunidade de aprofundar os conhecimentos em técnicas de projeto e descrição de hardware de alto desempenho bem como obter maior contato com o kit NetFPGA-10G. Esse conhecimento será de grande utilidade para os próximos projetos de hardware desenvolvidos no ICTLab - Inatel.

REFERÊNCIAS

- [1] Milica Mitić and Mile Stojcev, An Overview of On-Chip Buses. Servia: Niš, 2006, pp 409-410.
- [2] Mick Posner and Darrin Mossor, Designing Using the AMBA (TM) 3 AXI (TMI) Protocol – Easing the Design Challenges and Putting the Verification Task on a Fast Track to Success. Disponível: <http://www.design-reuse.com/articles/10299/designing-using-the-amba-tm-3-axi-tm-protocol-easing-the-design-challenges-and-putting-the-verification-task-on-a-fast-track-to-success.htm>
- [3] Yongquan Fan, A Versatile FPGA-based High Speed Bit Error Rate Testing Scheme. Department of Electrical and Computer Engineering, McGill University: Montreal, 08/2003.
- [4] UIT (UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES), ESPECIFICACIONES DE LOS APARATOS DE MEDIDA. 10/92.
- [5] R. N. Mutagi, Pseudo noise sequences for engineers. ELECTRONICS & COMMUNICATION ENGINEERING JOURNAL, 04/1996.
- [6] AMBA AXI4 Interconnect Protocol, AMBA AXI4 Interface Protocol, 2004. Disponível: <http://www.xilinx.com/ipcenter/axi4.htm>

Utilização de Lógica Fuzzy em Veículos Autônomos – Modelo “The Freescale Cup”

João Pedro Martins Souza

Wélington Borsato Rodrigues

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joao.souza@gec.inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
welingtonborsato@gea.inatel.br

Evandro Luís Brandão Gomes

Edielson Prevato Frigieri

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
evandro@inatel.br

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
edielson@inatel.br

Resumo—Este artigo apresenta uma aplicação da lógica fuzzy para suavização de trajetos, destacando sua aplicação em carros autônomos de corrida de acordo com o regulamento da “The Freescale Cup Brazil 2014”. São mostrados comparativos entre as lógicas binária e difusa, os processos de conversão de dados relacionados a um sistema fuzzy, sua implementação em firmware e os resultados obtidos com sua utilização.

Palavras-chave— Fuzzy, Defuzzyficação, Inferência, Fuzzyficação.

I. INTRODUÇÃO

A equipe de iniciação científica INATRONIX, do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, tem o intuito de participar da competição “The Freescale Cup Brazil”. Para isso, foi desenvolvido um carro de corrida de acordo com o manual da competição.

O regulamento prevê que o protótipo deve ter uma central de processamento equipada com um microcontrolador ou microprocessador de 32bits da Freescale, usar motores, baterias, câmeras, chassi e rodas fornecidas pela empresa, conforme figura 1; não pode conter outros dispositivos programáveis, circuitos que possam dar ganho de potência nos motores de tração e a capacidade total do circuito não deve exceder 2000uF.[1]

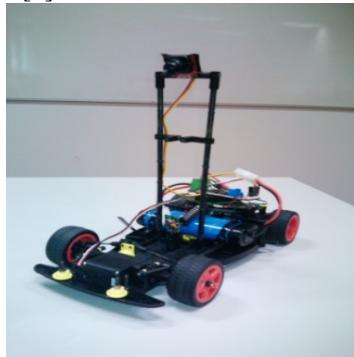


Fig. 1. Carro segundo modelo Freescale

As equipes com carros mais rápidos são premiadas.

Como o carro necessita de um alto desempenho quanto à desenvoltura nas curvas e velocidade para a competição, viu-se necessário a implementação de algo que pudesse fornecer uma alta velocidade sem que haja perda no desempenho do carro na pista, pois havia problemas críticos com relação a curvas em altas velocidades, pois em seu término o carro deveria encontrar o centro da pista para seguir uma trajetória em linha reta ou entrar em outra curva. O problema é que a direção oscilava muito até encontrar o centro, conforme figura 2.

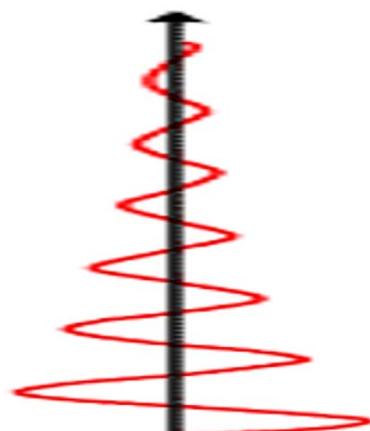


Fig. 2. Oscilação do veículo depois de uma curva

Essa situação implica em duas consequências que podem resultar em desclassificação: correr fora do trajeto e diminuição extrema de velocidade para oscilar o mínimo possível.

Para resolver isso, foi implementado um sistema de processamento de imagem baseado na lógica fuzzy, também conhecida como lógica difusa ou lógica nebulosa.

II. HARDWARE

A. FRDM- KL25Z

A FRDM-KL25Z é uma plataforma de desenvolvimento de

baixo custo da Freescale, para Kinetis L Series KL1x (KL14/15) e KL2x(24/25) MCUs construídas em ARM Cortex – M0 + processador. Suas características incluem acesso fácil a MCU I/O, monitoramento de carga de bateria, baixo consumo de operação, padrão baseado com opções de placas de expansão e uma interface de depuração em tempo real direto no hardware [2].

Para a competição é usado um shield FRDM-TFC, o qual é conectado com a placa KL25Z para acoplamento dos motores DC, servos e leitura de câmera. Suas principais características são: dois canais para motores DC (5A por canal), dois canais de saída para servo, duas interfaces de leitura de câmera, duas entradas para sensores de velocidade, dois potenciômetros, dois *push button* e quatro posições *DIP Switch* para funções de usuário e quatro *LEDs* para indicador de bateria ou funções de usuário [3]. A figura 3 mostra o shield conectada na placa FRDM-KL25Z:



Fig. 3. Placa KL25Z e shield FRDM-TFC.

B. Câmera

A coleta de imagens e informações para análise e tomadas de decisão é feita através de uma câmera monocromática com matriz de pixels 1x128. Baseada em cima do sensor TSL1401CL, suas características são: sensor linear de imagens de 128 pixels, lente de imagem focalizável, interface simples de MCU de três pinos com saída analógica de pixels, lentes com 7,9 milímetros de comprimento focal, abertura F2.4 fixo, foco manual, tempo de exposição de 267 µs para 68 ms, resolução de 128 pixels, amplificador acoplado para melhor definição branco/preto[4]. A figura 4 e 5 representam respectivamente, o modelo da câmera utilizada e o sinal captado por ela.



Fig. 4. Câmera monocromática.

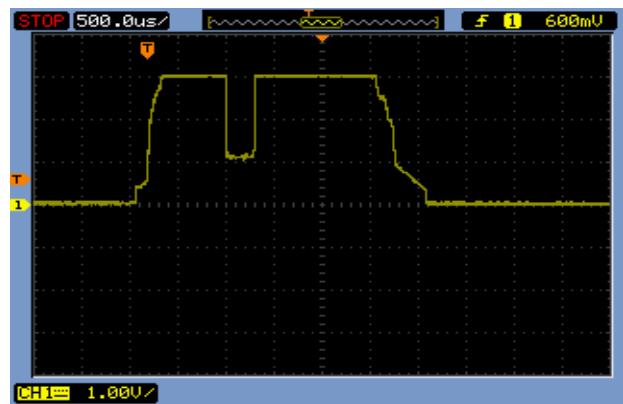


Fig. 5. Amostra de detecção da pista pela câmera.

C. Servo motor

Servos são motores de corrente contínua voltados para produção de altos-torques e ajustes em ângulos específicos por uma rotação contínua. Sua capacidade de posicionar o servo em um ângulo específico o torna ideal para o controle das rodas dianteiras do carro.

O servo tem amplitude de movimento 0-180 graus, interface de três fios, vermelho (V+), preto (terra) e branco (controle). Para controle do servo são usados comandos de modulação por largura de pulso (PWM) em incrementos de 20 ms.[5]

D. Motores de corrente continua

Os motores de corrente contínua são dispositivos elétricos que convertem energia elétrica em movimento de rotação. O motor é utilizado para deslocar o carro ao longo da pista a ser percorrida, onde sua velocidade ou no caso o torque do motor é regulado por meio de comandos de modulação por largura de pulso (PWM)[6]. A figura 6 representa o motor DC utilizado.

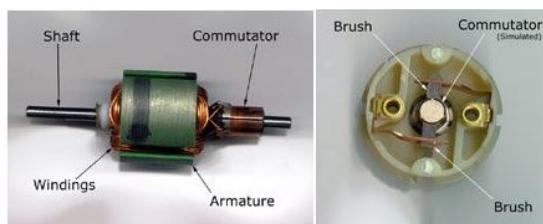


Fig. 6. Motor de corrente contínua.

III. LÓGICA FUZZY

“Sistemas Fuzzy são [...] sistemas baseados em regras. O coração de um sistema fuzzy é uma base de conhecimento que consiste na chamada de regras fuzzy “SE-ENTÃO”. Uma regra fuzzy “SE-ENTÃO” é um estado “SE-ENTÃO” em que algumas palavras são caracterizadas por funções[...]. Por exemplo, a seguinte expressão é uma regra fuzzy “SE-ENTÃO”:

SE a velocidade de um carro é alta, ENTÃO aplique menos força ao acelerador.”[7].

Essas regras não definem um nível lógico, mas sim uma faixa de possibilidades, conforme as figuras 7 e 8. Anteriormente à lógica fuzzy, poder-se-ia dizer que o carro está a direita do centro, no centro, ou a esquerda do centro da pista. Agora se pode dizer que o carro pode estar próximo ao centro e levemente à direita, ou ainda longe do centro e muito à esquerda.

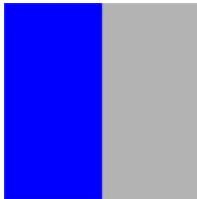


Fig. 7. Lógica Clássica[6]

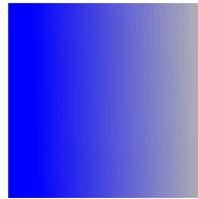


Fig. 8. Lógica Difusa[6]

Um sistema Fuzzy tem etapas essenciais para se obter a saída desejada. São elas a fuzzificação, a criação das regras, a inferência e a defuzzificação.

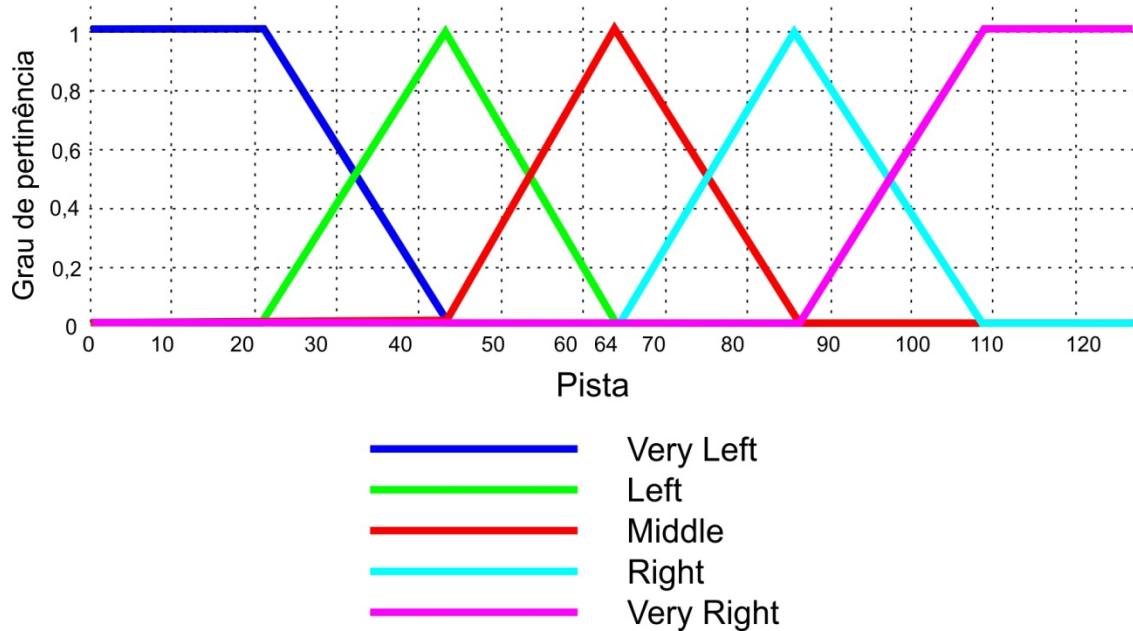


Fig. 9. Representação no mundo Fuzzy da posição do carro em relação ao centro da pista

A. Fuzzificação

A primeira é o processo de adequar um sinal do mundo real para um mundo Fuzzy, e consiste em converter os valores físicos para uma escala de 0 a 1, criando graus de pertinência entre esses dois valores.

No desenvolvimento do protótipo apresentado, foram criadas 8 condições de entrada, sendo 3 relacionadas à velocidade do carro (Slow, Fast e Rapid) e 5 relacionadas à sua posição na pista (Very Right, Right, Middle, Left, Very

Left). A posição do veículo varia de 0 a 128 no eixo dos valores reais, e a velocidade de 0 a 1. As figuras 9 e 10 ilustram isso.

Da mesma forma que as entradas, cria-se uma saída no mundo fuzzy, que neste caso trata-se da posição do servo motor responsável pela direção das rodas.

O eixo das abscissas varia de -1 à 1 pois é a faixa de valores usados no *firmware*. Isso pode ser visto na figura 11.

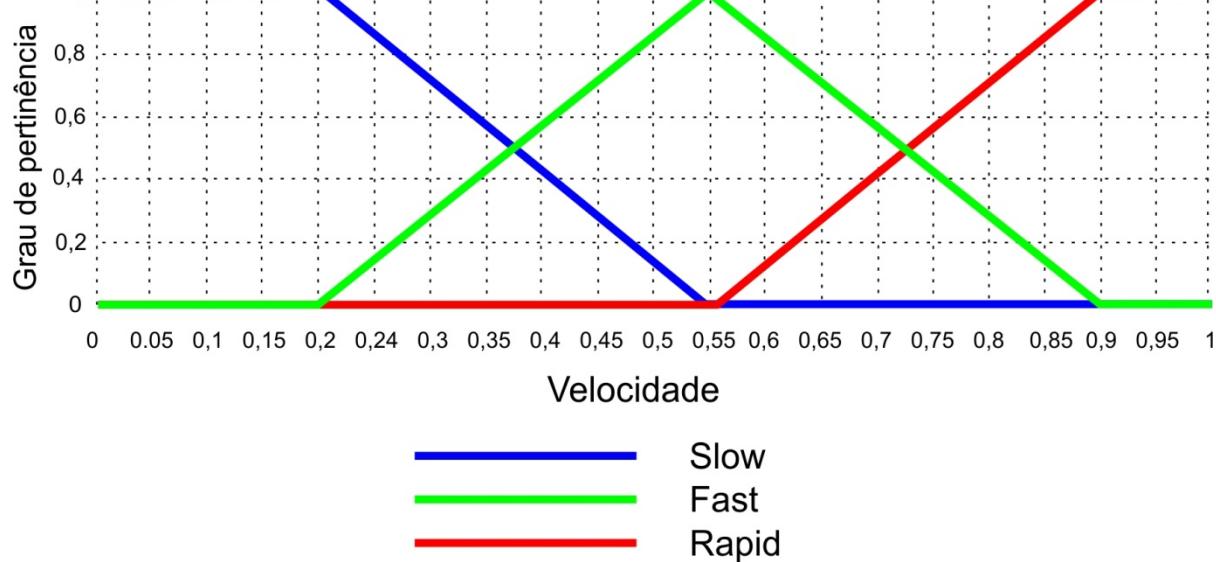


Fig. 10. Representação no mundo Fuzzy da velocidade do carro.

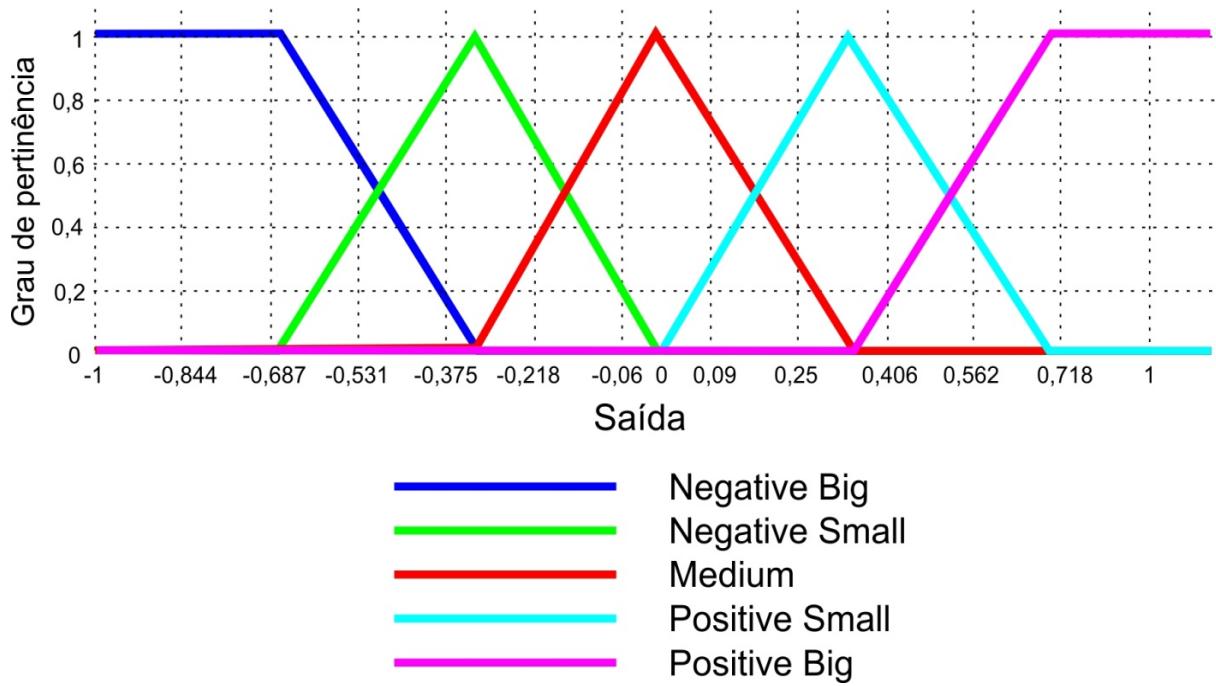


Fig. 11. Representação no mundo fuzzy da saída do sistema

B. Criação da base de regras:

Através desses parâmetros de entrada, criam-se as regras de saída, que são definidas pela seguinte tabela:

TABELA I
REGRAS DE INFERNÉCIA.

	VL	L	M	R	VR
SLOW	NS	NS	M	PS	PS
FAST	NB	NS	M	PS	PB
RAPID	NB	NB	M	PB	PB

Onde: PS = Positive Small

PB = Positive Big

M = Medium

NS = Negative Small

NB = Negative Big.

A nomenclatura “Positive” se refere ao ato de virar à direita, e “Negative” se refere a virar à esquerda, ou seja, quando a velocidade do carro é “Rapid” e a sua posição na pista é “Left”, a mudança de direção deve ocorrer para a esquerda com grande intensidade, “Negative Big”.

Os usos de “positive” e “negative” se dão devido ao sinal numérico usado no firmware para escolher a direção do servo motor.

C. Inferência:

Para se obter a saída desse sistema fuzzy, é realizada a inferência. O processo consiste na Lei dos Máximos e Mínimos. Isso cria figuras que variam de acordo com as regras e os graus de pertinência.

Como exemplo, foi usada a seguinte situação: posição na pista igual a 40 e velocidade igual a 0.9.

Essas condições implicam, analisando os gráficos, nas condições “Left” e “Rapid”.

Para “Left”, o valor de 40 implica em um grau de pertinência regido pela reta:

$$Y = \frac{x}{23} - \frac{20}{23} \quad (1)$$

Portanto seu grau de pertinência é 0,869.

Para “Very Left”, o valor de 40 implica em um grau de pertinência regido pela equação:

$$Y = -\frac{x}{23} + \frac{43}{23} \quad (2)$$

Portanto seu grau de pertinência é 0,13.

Para a condição “Rapid”, analiticamente tem-se que seu grau de pertinência é igual a 1 para a velocidade igual a 0.9.

Pelo mecanismo de inferência dos máximos e mínimos aplicada a todas as regras se obtém a figura 12: [8]

D. Defuzzificação:

O processo de defuzzificação é necessário para transformar os valores do mundo fuzzy para o mundo real e consiste em encontrar o centro de gravidade dessas figuras. O processo matemático para isso é um somatório e, portanto, teve-se que tirar amostras desse sinal. Foram feitas 100 amostras.

$$\text{Saída} = \frac{\sum_{i=1}^{100} R_i \times F_i}{\sum_{i=1}^{100} F_i} \quad (2)$$

Onde R corresponde ao valor do eixo Real e F corresponde ao eixo Fuzzy.

Fuzzy

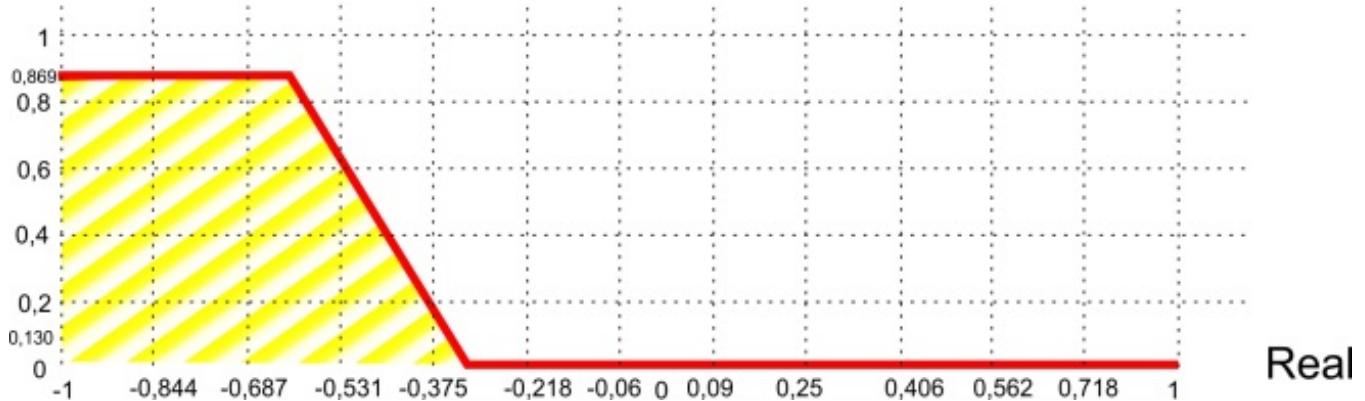


Fig. 12. Resultado da inferencia

Com o auxílio do software de plotagem Scilab 5.4.1 e de uma *Fuzzy Logic Toolbox*, criou-se a superfície de resposta do sistema representada pela figura 13.[9]

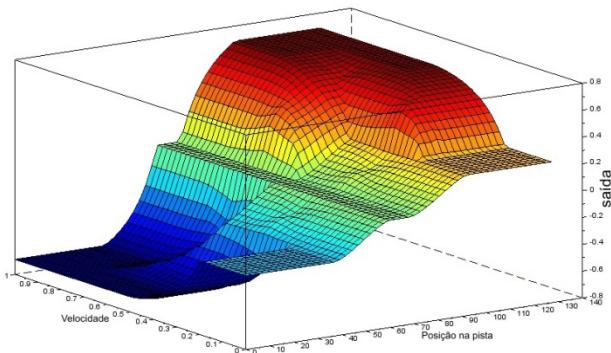


Fig. 13. Superfície de resposta do sistema

IV. FIRMWARE

O microcontrolador usado para tratamento das informações recebidas e tomadas de decisão foi o Arm Cortex -M0 FRDM-KL25Z. Para este micro controlador a Freescale disponibiliza uma plataforma de desenvolvimento específica para a placa, CodeWarrior, o qual oferece aplicações avançadas para facilitar nos desenvolvimentos de algoritmos referentes às aplicações do microcontrolador.

Para tomada de decisão dos controles de direção do carro, são levados em conta vários aspectos externos, tais como, velocidade imprimida pelo carro no instante analisado, direção de orientação dos servos, tomando como referência se esta em uma curva ou reta.

Quando um problema apresenta um numero muito grande de variáveis a serem analisadas, ele acaba apresentando um grande grau de incerteza, sendo necessário que para solução deste se utilize um modelo matemático que conte com essa especificidade e não desconsidere aspectos que possam ser ignorados na aplicação de lógicas tradicionais. Para esses casos a lógica *fuzzy* é a mais utilizada, pois apresenta um modelo capaz de combinar a imprecisão associada aos eventos naturais e o poder computacional das máquinas produzindo assim sistemas de respostas inteligentes e precisos. [10]

Inicialmente é utilizada uma câmera monocromática para capturar as imagens da pista a ser percorrida pelo carro, onde a figura 5 exemplifica o sinal captado pela câmera. Após a captação dos pixels é feita uma conversão analógico/digital, onde os 128 pixels da imagem são transformados em números referentes à intensidade de cor que cada pixel representa.

Após a conversão, os 128 números são tratados por um algoritmo, o qual faz a media dos valores recebidos, retornando um valor médio referente à coordenada do carro na pista. A figura 14 exemplifica o código responsável pelo cálculo da média.

```

for (;;) {
    if (LineScanImageReady == 1) {
        a = 0;
        b = 127;
        while (LineScanImage0[a] <= limiar || LineScanImage0[b] <= limiar) {
            if (LineScanImage0[a] <= limiar) {
                a++;
            }
            if (LineScanImage0[b] <= limiar) {
                b--;
            }
        }
        if ((b - a) <=0) {
            media = media;
        }
        else {
            media = (int) (a + b) / 2;
        }
    }
}

```

Fig. 14. Algoritmo referente ao cálculo da média.

O resultado retornado pelo algoritmo será um número entre 0 e 128, este se estiver entre 0 e 63 o carro está realizando uma curva a esquerda, entre 63 e 65 esta no centro da pista podendo se dizer que esta em uma reta e valores de 65 a 128 esta realizando uma curva a direita, onde quanto mais o valor se aproxima das extremidades 0 ou 128, mais acentuada é a curva.

Depois de analisadas as imagens o algoritmo faz a medição da velocidade que esta sendo impressa pelo carro naquele momento, onde sua velocidade é representada por valores entre 0 e 1, sendo que 0 os motores estão desligados e 1 representa a velocidade máxima que pode ser atingida.

Com a obtenção dos valores reais impressos pelo carro são feitas conversões para valores do mundo *fuzzy*, os quais representam graus de pertinência. Essa conversão é feita através dos gráficos representados pelas figuras 9 e 10. Onde se espelham os valores do eixo das abscissas nos gráficos, obtendo valores referentes aos graus de pertinência no eixo das ordenadas. Este processo é chamado de *fuzzyficação*, o qual é realizado por meio do algoritmo a partir de funções matemáticas que representam os gráficos das figuras 9 e 10, onde a partir dos valores inseridos nas respectivas funções, é retornado um valor referente ao mundo *fuzzy*. A figura 15 abaixo mostra o algoritmo responsável por essa parte.

```

/*m=(y2-y1)/(x2-x1)/*
#define SLOPE(x1, x2, y1, y2) ((y2-y1)/(x2-x1))
/*y=m(x-x1)+y1*/
#define LineEquation(val, x1, y1, x2, y2) ((SLOPE(x1,x2,y1,y2))*(val-x1)+y1)

/*

$$\begin{array}{c} Y_2 \\ \backslash \\ / \backslash \\ Y_1 \quad Y_3 \\ X_1 \quad X_2 \quad X_3 \end{array}$$

*/
#define TriangularFuzzySet(val,X1,X2,X3,Y1,Y2,Y3) ((val)<(X1) ? (0.0) : (val)<=(X2) ?
LineEquation(val,X1,Y1,X2,Y2)) : (val)<=(X3) ? (LineEquation(val,X2,Y2,X3,Y3)) : (0.0)
/*

$$\begin{array}{c} Y_2 \quad Y_3 \\ \backslash \quad \backslash \\ Y_1 \quad Y_4 \\ X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \end{array}$$

*/
#define TrapezoidalFuzzySet(val,X1,X2,X3,X4,Y1,Y2,Y3,Y4) ((val)<(X1) ? (0.0) : (val)<=(X2) ?
LineEquation(val,X1,Y1,X2,Y2)) : (val)<=(X3) ? (1.0) : (val)<=(X4) ? (LineEquation(val,X3,Y3,X4,Y4)) : (0.0)

```

Fig. 15. Algoritmo referente a funções matemáticas.

A partir dos valores obtidos na fuzzyficação é realizada a parte de inferência, onde os valores são comparados entre si com base nas regras representadas pela tabela I, tendo como resposta um vetor contendo os resultados dos valores das comparações, onde cada valor representa uma coordenada do gráfico de inferência, o qual pode ser exemplificado pela figura 12. As figuras 16 e 17 representam o algoritmo responsável por este processo.

```

float dInference[FUZZY_NUM_RULES][OUTPUT_DATA_SIZE];
float dMaxOut[OUTPUT_DATA_SIZE];
float dVarFuzzyOne[FUZZY_RULES_MAX_ROW], dVarFuzzyTwo[FUZZY_RULES_MAX_COL];
float dCDANum = 0;
float dCDADen = 0;
int iCounter, i, j;

dVarFuzzyOne[0] = TrapezoidalFuzzySet(dInputValue1,FuzzySpeedLow[0][0], FuzzySpeedLow[1][0],
FuzzySpeedLow[2][0], FuzzySpeedLow[3][0], FuzzySpeedLow[0][1],
FuzzySpeedLow[1][1], FuzzySpeedLow[2][1], FuzzySpeedLow[3][1]);
dVarFuzzyOne[1] = TriangularFuzzySet(dInputValue1,FuzzySpeedFast[0][0], FuzzySpeedFast[1][0],
FuzzySpeedFast[2][0], FuzzySpeedFast[0][1], FuzzySpeedFast[1][1], FuzzySpeedFast[2][1]);

dVarFuzzyOne[2] = TrapezoidalFuzzySet(dInputValue1,FuzzySpeedRapid[0][0], FuzzySpeedRapid[1][0],
FuzzySpeedRapid[2][0], FuzzySpeedRapid[3][0], FuzzySpeedRapid[0][1],
FuzzySpeedRapid[1][1], FuzzySpeedRapid[2][1], FuzzySpeedRapid[3][1]);

dVarFuzzyTwo[0] = TrapezoidalFuzzySet(dInputValue2,FuzzyVeryLeft[0][0], FuzzyVeryLeft[1][0],
FuzzyVeryLeft[2][0], FuzzyVeryLeft[3][0], FuzzyVeryLeft[0][1],
FuzzyVeryLeft[1][1], FuzzyVeryLeft[2][1], FuzzyVeryLeft[3][1]);

```

Fig. 16. Algoritmo referente às regras de inferência.

```

dVarFuzzyTwo[1] = TriangularFuzzySet( dInputValue2,FuzzyLeft[0][0], FuzzyLeft[1][0],
FuzzyLeft[2][0], FuzzyLeft[0][1], FuzzyLeft[1][1], FuzzyLeft[2][1]);

dVarFuzzyTwo[2] = TriangularFuzzySet( dInputValue2,FuzzyMedium[0][0], FuzzyMedium[1][0],
FuzzyMedium[2][0], FuzzyMedium[0][1], FuzzyMedium[1][1], FuzzyMedium[2][1]);

dVarFuzzyTwo[3] = TriangularFuzzySet( dInputValue2,FuzzyRight[0][0], FuzzyRight[1][0],
FuzzyRight[2][0], FuzzyRight[0][1], FuzzyRight[1][1], FuzzyRight[2][1]);

dVarFuzzyTwo[4] = TrapezoidalFuzzySet( dInputValue2,FuzzyVeryRight[0][0], FuzzyVeryRight[1][0],
FuzzyVeryRight[2][0], FuzzyVeryRight[3][0], FuzzyVeryRight[0][1], FuzzyVeryRight[1][1],
FuzzyVeryRight[2][1], FuzzyVeryRight[3][1]);

/*INFERENCE*/
int iRules = 0;
for (i = 0; i < FUZZY_RULES_MAX_ROW; i++) {
    for (j = 0; j < FUZZY_RULES_MAX_COL; j++) {
        for (iCounter = 0; iCounter < OUTPUT_DATA_SIZE; iCounter++) {
            dInference[iRules][iCounter]=MIN(MIN(dVarFuzzyOne[i],dVarFuzzyTwo[j]),FuzzyServAng[RulesMatrix[i][j]][iCounter]);
        }
        iRules++;
    }
}

```

Fig. 17. Algoritmo referente às regras de inferência.

Após todas essas etapas é realizado a defuzzyficação, onde os valores do mundo *fuzzy* são transformados para um valor do mundo real, o qual será referente ao grau que o servo deve estar para que o carro possa realizar seu melhor desempenho na pista.

A defuzzificação é feita através do método de centro de área. Este método transforma a saída *fuzzy* em saída real encontrando a média aritmética entre os centros de gravidade dos conjuntos *fuzzy* aos quais o elemento pertence, ponderados pelo grau de pertinência. Este processo é realizado atrás do algoritmo representado na figura 18.

```

/*DEFUZZIFICATION*/
for (iCounter = 0; iCounter < OUTPUT_DATA_SIZE; iCounter++) {
    /*AGREGATION*/
    for (i = 0; i < FUZZY_NUM_RULES; i++) {
        if(i!=0)
            /*COPY THE FIRST RULE TO THE OUTUT*/
            dMaxOut[iCounter] = dInference[i][iCounter];
        else
            dMaxOut[iCounter] = MAX(dMaxOut[iCounter],dInference[i][iCounter]);
    }
    /*CDA*/
    dCDANum = dCDANum + dMaxOut[iCounter] * RealOutputAxis[iCounter];
    dCDADen = dCDADen + dMaxOut[iCounter];
}
return ((dCDADen > 0) ? (dCDANum / dCDADen) : 0);
}

```

Fig. 18. Algoritmo referente à defuzzyficação.

V. RESULTADOS

Com a aplicação da lógica fuzzy, a oscilação que acontecia após uma curva foi reduzida drasticamente, e o carro consegue facilmente correr em linha reta após uma curva em alta velocidade, como ilustra a figura 19.

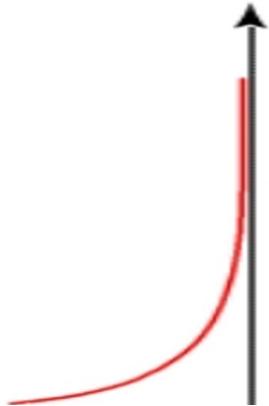


Fig. 19. Comportamento do carro com lógica fuzzy

Esse comportamento permitiu um aumento de velocidade e desempenho, criando um veículo competitivo e obtendo o 3º lugar na “The Freescale Cup Brazil 2014”.

VI. CONCLUSÃO

Com o uso da lógica Fuzzy, é possível suavizar comportamentos indesejados em acionamentos mecânicos, assim como ocorreu com o servo – motor responsável pela direção do carro.

REFERÊNCIAS

- [1] Freescale Semiconductor (2015, 22 Janeiro). The Freescale Cup 2014 EMEA Challenge Rules[Online]. Disponível: <https://community.freescale.com/servlet/JiveServlet/previewBody/100723-102-5-17609/TCF%20Brazil%202014%20Rules.pdf>
- [2] Freescale Semiconductor (2015, 26 Janeiro). FRDM-KL25Z: Freescale Freedom Development Platform[Online]. Disponível: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=FRDM-KL25Z.
- [3] H. Eli (2015, 26 Janeiro). Freescale Cup Shield for the Freedom KL25Z[Online]. Disponível: <https://community.freescale.com/docs/DOC-93914>.
- [4] X. Guo (2015, 27 Janeiro). Line Scan Camera Use[Online]. Disponível: <https://community.freescale.com/docs/DOC-1030>.
- [5] X. Guo(2015, 27 Janeiro).MCU 101: Pulse Width Modulation for Servos[Online]. Disponível: <https://community.freescale.com/docs/DOC-1027>.
- [6] X. Guo(2015, 28 Janeiro). Freescale Cup Motor Driver Board[Online]. Disponível: <https://community.freescale.com/docs/DOC-1059>.
- [7] W.Li –Xin, A Course in fuzzy Systems and Control, International Edition vol.1.Hong Kong: University of Science and Technology, n/d, pp.02. item 2.1, cap. 1.
- [8] W.Li –Xin, A Course in fuzzy Systems and Control, International Edition vol.1.Hong Kong: University of Science and Technology, n/d, pp.97-102. item 7.2.3, Cap. 7.
- [9] A.lotfi(2015, Fevereiro) FISLAB- the Fuzzy Inference Tool-Box for Scilab[Online] . vol.5 . 105-106. Disponível: file:///C:/Users/Jo%C3%A3o%20Pedro/Downloads/Estilo%20IEEE.pdf.
- [10] AGUADO, A. G., CANTANHEDE, M. A. Lógica Fuzzy. Congresso UNICAMP, Limeira, 2010, 12p.
- [11] A. Baratella(2015, Fevereiro)“Técnica de Inteligência Artificial Aplicada a Sistemas FidelBus para Otimização dos Processos Industriais”. Anais Inatel. Maio. 2014.
- [12] Y. Quan(2015, Fevereiro).“Fuzzy Control Research in the Courses of Smart Car”, IEEE tras. Electron. Devices, 2010.
- [13] X. F. Wan(2015, Fevereiro)“Fuzzy Control System for intelligent Car”. IEEE tras. Electron. Devices, 2009.
- [14] G. Chen(2015, Fevereiro)“Automatic Routs Tracking of Smartcar Based on Fuzzy Control”. IEEE tras. Electron. Devices, jun. 2008.

Planta Didática de Nível utilizando Plataforma Arduíno e Sensor Ultrassônico

Leonardo Augusto Amaral Sanches da Cunha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
leonardoaugusto@gea.inatel.br

João Paulo Carvalho Henriques

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joao.paulo@inatel.br

Resumo—Com o aumento da complexidade dos sistemas industriais a serem controlados, o desenvolvimento de novos algoritmos complexos de controle se faz necessária. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma planta de nível didática para o estudo de técnicas de identificação e de controle de sistemas dinâmicos. O trabalho consiste na descrição dos passos necessário para a construção de uma planta de baixo custo com a utilização da plataforma Arduíno e de sensor ultrassônico.

Palavras-chave— Planta de Nível Didática, Sensor Ultrassônico, Identificação e Controle de Sistemas Dinâmicos.

I – INTRODUÇÃO

No ensino de engenharia, especialmente em engenharia de Controle e Automação, há uma necessidade real de introduzir no ambiente acadêmico, condições e situações semelhantes às encontradas nas plantas industriais [1]. Neste contexto, o presente trabalho aborda o desenvolvimento de uma planta de nível didática para laboratório, utilizando para medida de nível um sensor ultrassônico e uma plataforma de desenvolvimento Arduíno.

Os sistemas de nível estão presentes na maior parte das plantas industriais, especialmente nas indústrias químicas, petroquímicas e alimentícias [2]. Desta forma, o desenvolvimento da planta de nível didática traz para o ensino de engenharia um processo real da indústria, possibilitando aos alunos um estudo detalhado de técnicas de identificação de sistemas dinâmicos, bem como o estudo de técnicas de controle moderno.

A utilização de sensores ultrassônicos para a medição de nível vem se mostrando muito eficiente em aplicações industriais, com destaque para a medida de nível de materiais sólidos, como por exemplo, para medida de volume (nível) de produtos agrícolas em Silos [2]. Assim, o presente trabalho utiliza um sensor ultrassônico de baixo custo, onde o nível da coluna de líquido do tanque superior é medido, e o sinal é convertido para o padrão de automação, utilizando a já consagrada plataforma de desenvolvimento Arduíno.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção II os instrumentos utilizados para medição de nível são revisados. A plataforma de desenvolvimento Arduíno é apresentada na Seção III. Na seção IV são apresentadas as

etapas necessárias para o desenvolvimento de um sistema de nível didático e os resultados abordados no trabalho de Olveira e Rodrigues [1] são apresentados na Seção V.

II – INSTRUMENTAÇÃO

Em automação industrial, a medida de nível, ou sistema de nível, pode ser considerada a medida da altura de uma coluna de líquido ou de um sólido no interior de um tanque ou vaso [2]. Os sistemas de nível estão presentes nos diversos segmentos da indústria como petroquímica, alimentícia, bebidas, dentre outros.

No meio industrial, a medida de nível pode ser realizada utilizando diferentes tipos de sensores, como por exemplo, sensores resistivos, sensor de pressão diferencial, sensor digital tipo boia, sensores discretos capacitivos, ultrassônicos, dentre outros [3].

A medição de nível com elementos resistivos deve ser realizada com líquidos condutores juntamente com a instalação de fitas resistivas como apresentado na Figura 1 [3]. A parte submersa da fita resistiva fica curto-circuitada, gerando valores variáveis de resistências à medida que o nível do líquido varia. A desvantagem deste tipo de sensor se dá ao fato de usar resistências e energia para medição, que, ao medir um líquido inflamável pode facilmente causar uma explosão.

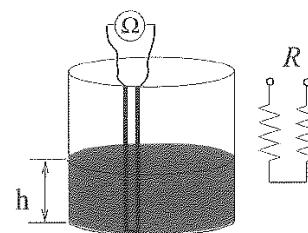


Figura 1 - Sensor de Nível Resistivo

A medida de nível através de sensores capacitivos pode ser realizada utilizando um recipiente metálico e um líquido não metálico como apresentado na Figura 2. À medida que o nível de líquido varia, a capacidade também varia, fazendo com que o nível seja medido utilizando um circuito comparador.

Assim como nos sensores resistivos, neste tipo de sensor também há com líquidos inflamáveis [3].

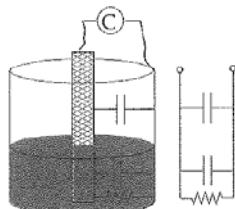


Figura 2 - Sensor Capacitivo de Nível

Outro método bastante utilizado na medida de nível em processos industriais, utiliza um sensor de pressão diferencial. Um sensor de pressão instalado no fundo do tanque mede a pressão causada pela coluna de líquido, gerando assim um valor variável à medida que o volume de líquido aumenta. A desvantagem em utilizar este método está relacionada com a variação não intencional da pressão do ambiente onde o sistema de medida está instalado [2].

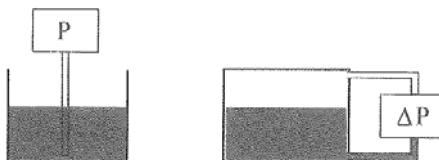


Figura 3 - Medida de Pressão Diferencial

Para alguns casos especiais, existe a possibilidade de medir o nível de tanques de forma digital utilizando sensores tipo boia. Este tipo de sensor reconhece o aumento do nível do líquido e aciona um contato elétrico. A desvantagem deste tipo de medida é a falta da informação real do nível do líquido, uma vez que a medida é feita somente quando o nível atinge certo valor [4].

Atualmente, um dos sensores mais utilizados para mediação de nível são os sensores ultrassônicos. Com este tipo de sensor é possível identificar diferentes tipos de líquidos e materiais sólidos. O funcionamento do sensor ultrassônico baseia-se no princípio da reflexão das ondas sonoras, onde o tempo decorrido entre o instante em que o sinal é emitido e o instante em que o sinal refletido é detectado, é utilizado para calcular a distância do objeto com relação ao sensor, e consequentemente o nível do líquido. A Figura 4 [2] apresenta um sistema de nível sendo medido por um sensor ultrassônico.

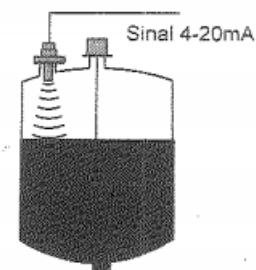


Figura 4 - Medida de Nível Sensor Ultrassônico

III - ARDUÍNO

O Kit educacional Arduíno é uma plataforma de prototipagem eletrônica de placa única, com um microcontrolador Atmel AVR. Este Kit possui entradas e saídas digitais/analógicas embutidas e pode ser programado utilizando a linguagem de programação padrão C/C++[5].

O objetivo do kit é criar ferramentas que são acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de serem utilizadas por estudantes e pesquisadores, principalmente para projetos que não necessitam de controladores mais sofisticados e de ferramentas mais complexas. A Figura 5 apresenta a plataforma de desenvolvimento Arduíno utilizada neste trabalho.



Figura 5 - Plataforma Arduíno

Como descrito anteriormente, neste trabalho o nível da coluna de líquido (variável a ser controlada) será medido utilizando um sensor ultrassônico em conjunto com um sistema de adequação e tratamento do sinal utilizando a plataforma Arduíno. A seguir serão detalhadas as etapas para o desenvolvimento da planta de nível em questão.

IV - DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE NÍVEL

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de nível didático para ser utilizado em disciplinas relacionadas com instrumentação e controle de sistemas dinâmicos. Para esta finalidade, foi construído um sistema de nível com dois tanques, onde a variável a ser controlada é a altura da coluna de líquido do tanque superior. A Figura 6 - Sistema de Nível Didático apresenta uma representação genérica de um sistema de nível.

A ação de controle $u(k)$ atua sobre a alimentação elétrica da bomba localizada no tanque inferior alterando a vazão do líquido bombeado para o tanque superior e consequentemente a altura da coluna de líquido $y(k)$. A altura da coluna de líquido do tanque superior é medida utilizando um sensor ultrassônico, e a adequação do sinal do sensor ultrassônico para o padrão de automação (0~10V) é feita utilizando uma plataforma de microcontrolador.

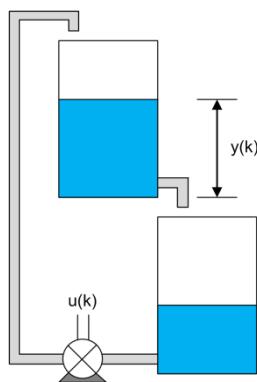


Figura 6 - Sistema de Nível Didático

O projeto em questão tem fins didáticos, ou seja, precisa ter as principais características dos sistemas de nível encontrados na indústria e possuir facilidades como ser aberto (*Open Source*), de baixo custo, fácil construção e compreensão. Com isso, em sua construção houve a preocupação de reunir materiais específicos que se adequassem a estas características. A seguir serão descritas as principais etapas do desenvolvimento do sistema de nível.

A. Mecânica

Para a construção da planta de nível, foram confeccionadas duas caixas para contenção de líquido usando polimetilmetacrilato, popularmente chamado de acrílico, com as dimensões 150 x 150 x 200 mm (LxCxA), sendo que o tanque inferior tem como propósito o armazenamento de líquido e o tanque superior é onde a medida de nível efetivamente será realizada. A Figura 7 apresenta a construção mecânica dos tanques.



Figura 7 - Construção Mecânica do Tanque

B. Sensor ultrassônico

Para realizar a medida do nível, utilizou-se um sensor ultrassônico modelo HCSR-04 (Figura 8), que apesar de apresentar uma inexatidão de aproximadamente 3mm em uma

determinada faixa de trabalho, e certa imprecisão, possui baixo custo e facilidade de aquisição.



Figura 8 - Sensor Ultrassônico HCSR-04

Para que o projeto fosse bem-sucedido, erros como imprecisão, não-linearização e inexatidão não poderiam ser aceitáveis. Desta forma, foram utilizadas técnicas para torná-lo mais exato e preciso. Primeiramente, quanto à exatidão, utilizou-se uma linha de tendência (curva de linearização) obtida através de um estudo em toda a faixa de operação do tanque, ou seja, o valor entregue na saída (em mm) comparado ao valor real medido fisicamente. Após alguns ensaios, e utilizando técnicas de linearização, obteve-se a equação de linearização apresentada em (1).

$$Y = 1.0291 \cdot X \quad (1)$$

onde X é o valor final medido pelo sensor e Y é o valor modificado que tende a estar mais próximo do valor de nível real.

Para aumentar a precisão da medida de nível foi utilizada uma segunda técnica por meio de software embarcado, onde dezenas de leituras são feitas por segundo e foi calculada uma média das medidas realizadas.

C. Adequação do Sinal do Sensor

A planta de nível desenvolvida neste trabalho tem como principal objetivo auxiliar o ensino de instrumentação e controle de sistemas dinâmicos. Desta forma, houve a necessidade de adequar o sinal do sensor ultrassônico para o padrão de sinal analógico utilizado em automação industrial (0 a 10 Vdc) [6]. A primeira etapa desta adequação foi realizada na plataforma Arduíno, onde os pulsos enviados pelo sensor ultrassônico foram convertidos em nível de coluna de líquido (mm). A plataforma Arduíno utilizada neste trabalho não possui saída analógica, desta forma, foi necessário implementar um conversor Digital/Analógico do tipo R-2R simples de 8 bits para converter as saídas digitais do Arduíno em um sinal analógico de 0 a 10 Vdc.

D. Açãoamento da Bomba Elétrica

Como apresentado na Figura 6, a alimentação elétrica da bomba altera a vazão do líquido enviado para o tanque superior, e consequentemente altera o nível do sistema. A potência elétrica entregue ao motor pode ser controlada, por exemplo, por um CLP (Controlador Lógico Programável) embarcado com um algoritmo de controle.

Para controlar a potência elétrica do motor através de um CLP, foi necessário converter o sinal de saída do CLP (0~10 V) em um sinal digital PWM (Pulse Width Modulation), que por sua vez é ligado à um driver de corrente utilizando um Transistor de Efeito de Campo, acionando com mais ou menos potência o motor, à medida que a tensão da saída do CLP varia.

E. Funcionamento da Planta

De forma sucinta, a Figura 9 apresenta o fluxograma de funcionamento da planta de nível didática sendo controlada por um CLP.

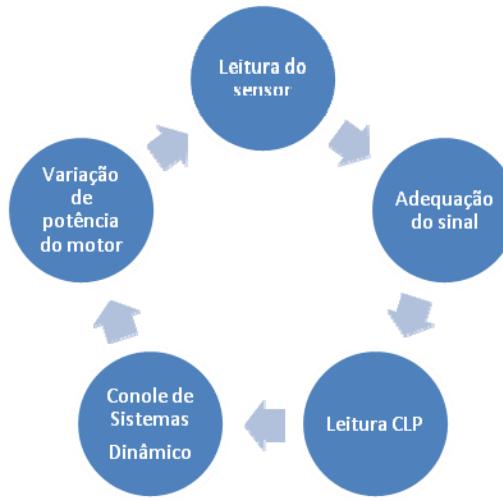


Figura 9 - Fluxograma Planta de Nível

O sensor ultrassônico mede o nível do tanque superior e envia os pulsos para o Arduino, onde é realizada a adequação do sinal, bem com sua linearização. Uma vez convertido o sinal para o padrão utilizado em automação industrial, o CLP fará a leitura do nível e a partir do algoritmo de controle embarcado, enviará para a planta a informação da potência elétrica a ser entregue para a bomba. Desta forma, tem-se um controle de nível em malha fechada, onde a realimentação é feita utilizando o sensor ultrassônico juntamente com o circuito de adequação. A seguir, serão apresentados alguns ensaios de identificação e controle utilizando o sistema de nível desenvolvido, apresentados no trabalho de Oliveira e Rodrigues [1].

IV – ENSAIOS E RESULTADOS

A fim de comprovar a funcionalidade da planta de nível em questão, Oliveira e Rodrigues [1] desenvolveram um sistema de controle e supervisão utilizando um Controlador Lógico

Programável e um Software Supervisório SCADA. A Figura 10 [1] apresenta a tela do supervisório utilizada no estudo de identificação de sistemas dinâmicos.

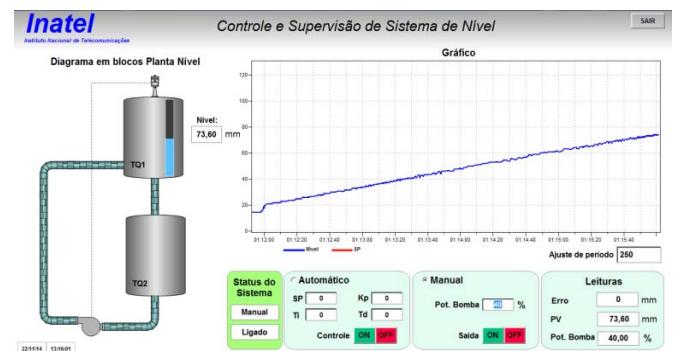


Figura 10 - Tela do Supervisório para Identificação de Sistemas

Como apresentado na Figura 10, o sistema de medição do nível do tanque funcionou adequadamente apresentando um nível de ruído aceitável para a aplicação. Ainda para comprovar a viabilidade e funcionamento do sistema de nível desenvolvido, utilizou-se um algoritmo de controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) embarcado em um CLP para o controle da altura da coluna de líquido do tanque superior. A Figura 11 [1] apresenta a tela de controle no sistema supervisório.

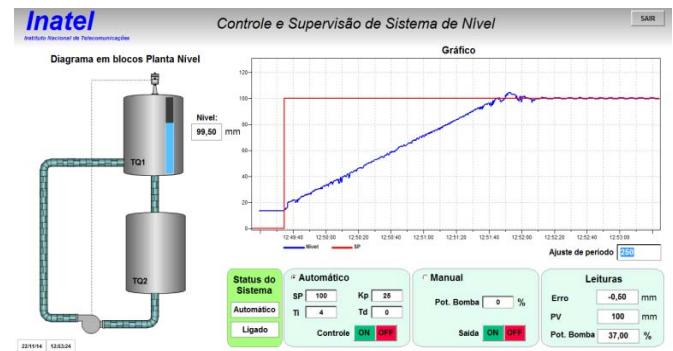


Figura 11 - Tela do Supervisório para Controle

Como pode ser observado na Figura 11, o sistema de controle atuou de maneira correta na planta fazendo com que o valor do nível permanecesse constante com um erro igual a zero.

IV – CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se o desenvolvimento de uma planta didática de nível, utilizando para a medição do nível um sensor ultrassônico e uma plataforma de prototipagem Arduino.

O desenvolvimento da planta de nível didática em questão, possibilita o estudo de técnicas de modelagem, identificação e controle de sistemas dinâmicos utilizando um controlador

externo, como por exemplo, um Controlador Lógico Programável. O sinal de leitura da altura da coluna de líquido e o sinal de atuação na bomba elétrica utilizam o padrão de sinais analógicos utilizados em automação industrial.

Em função da sua utilização em ambientes acadêmicos, neste trabalho foram utilizados materiais e dispositivos de baixo custo, como por exemplo, a plataforma de desenvolvimento Arduíno e o sensor ultrassônico HCSR-04.

Apresentaram-se também neste trabalho, os resultados da identificação e controle da planta de nível desenvolvida, utilizando um controlador lógico programável comercial embarcado com um algoritmo de controle PID, e um sistema supervisório SCADA.

REFERÊNCIAS

- [1] L. P. de Oliveira and V. L. Rodrigues, “Controle e Supervisão de uma Planta de Nível,” Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2014.
- [2] D. Thomazini and P. U. B. de Albuquerque, Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações, 8th ed. São Paulo: Érica, 2011.
- [3] L. A. Aguirre, Fundamentos de Instrumentação, 1st ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- [4] A. Capelli, Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos, 2nd ed. São Paulo: Érica, 2008.
- [5] A. R. Souza, A. C. Paixão, D. D. Uzêda, M. A. Dias, S. Duarte, and H. S. de Amorim, “A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC,” Rev. Bras. Ensino Física, vol. 33, no. 1, p. 1702, 2011.
- [6] C. M. Franchi and V. L. A. de Camargo, Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos, 1st ed. São Paulo: Érica, 2008.

Biblioteca de funções PID com independência de hardware

Diego de Souza Faria

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
diego.faria@tai.inatel.br

José Domingos Adriano

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
jose-adriano@inatel.br

Resumo — Este artigo apresenta uma biblioteca de funções independentes de hardware para a implementação de um controlador PID. A biblioteca proposta visa aplicação em microcontroladores sendo apresentados os princípios de desenvolvimento, as principais funções e, por fim, os resultados experimentais obtidos.

Palavras-chave—Controle, Microcontrolador, PID.

I. INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) para sistemas embarcados, em especial microcontroladores. O resultado final desse trabalho é uma biblioteca de funções robustas e eficientes que seja ao mesmo portável. Assim, foram considerados os seguintes requisitos para essa biblioteca:

- Ser escrita em linguagem C;
- Ser portável para diferentes compiladores e plataformas;
- Permitir altas taxas de amostragem;
- Ser independente de hardware;
- Permitir o controle de várias malhas de forma simultânea e independente;
- Buscar a menor ocupação de memória de programa e dados;
- Permitir a utilização com o menor número de recursos do microcontrolador;
- Ter baixo acoplamento com as demais aplicações que nele estejam rodando.

II. CONTROLADOR PID DIGITAL

Não obstante a teoria de controle digital PID ser conhecida e utilizada há décadas, o controle PID digital, isto é, aquele realizado por meios de sistemas digitais, exige alguns cuidados especiais em sua implementação. Assim, um controlador digital robusto e confiável é bem mais elaborado que a simples transcrição da equação do controlador para linguagem de programação.

Os principais desafios de implementação:

1. Arquitetura de software: impacta diretamente na portabilidade do software;
2. Tipos de dados e escalas: os tipos de variáveis influenciam a quantidade de memória de programa e de dados utilizados, além do tempo de execução do programa.
3. Sincronismo e tempo de amostragem: o funcionamento de um controlador PID digital baseia-se na existência de uma temporização que garanta o respeito a um tempo de amostragem.

A. Arquitetura do software

Para cumprir os objetivos propostos, foi adotada a arquitetura em camadas apresentada na figura 1, onde a camada de aplicação e as bibliotecas de usuário são próprias de cada projeto que utilizar o controlador proposto.

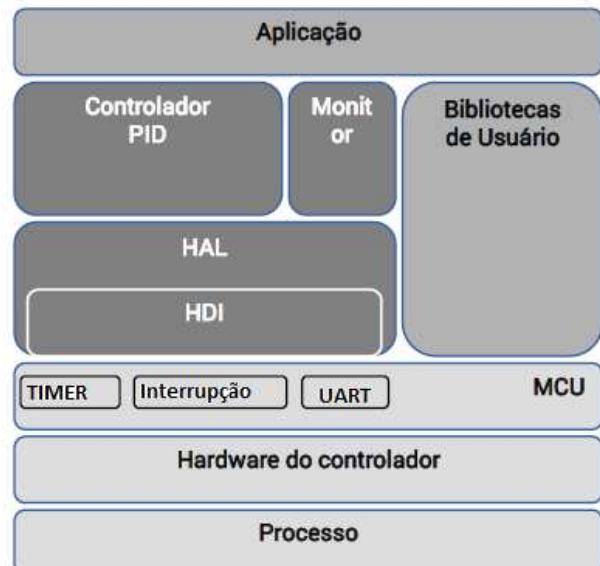


Fig. 1. Organização do componentes de hardware e software.

Um processo qualquer é controlado por um controlador digital que possui um microcontrolador. Dos recursos do microcontrolador objetivou-se utilizar a menor quantidade e os mais simples e comuns. A proposta deste trabalho é que o único periférico obrigatório seja um *timer* associado a interrupção, para garantir a base de tempo do sistema (tempo de amostragem). Além disso, para utilizar um monitor serial será necessária uma porta de comunicação serial (física ou emulada), preferencialmente associada a uma interrupção. Pressupõe-se que haja periféricos de entrada e saída analógicas, mas a natureza deses não influencia o sistema de controle; em outras palavras, informações analógicas entram e saem do controlador PID, mas sua origem e atuação são definidas pelo usuário. Esta abordagem permite, por exemplo, a construção de controles em cascata com *set points* internos.

1) Camada de Abstração de Hardware – HAL

O objetivo dessa camada é permitir que as camadas superiores possam operar com qualquer hardware. Para tanto, criam-se funções genéricas que possam prestar os serviços demandados pelas camadas superiores e possam ser implementadas em qualquer hardware. Algumas funções básicas deverão ter sua versão reescrita para cada novo hardwares (essas chamaremos HDI – *Hardware Dependente Interface*, Interface Dependente de Hardware), mas o restante do sistema permanece inalterado.

2) Camada de controle

A camada de controle é composta das funções que realizam o controle PID propriamente ditas. Além disso essa camada deve garantir que a amostragem na taxa definida, bem como a atualização dos sinais e saída do controlador.

Para implementar um controlador capaz de controlar diferentes malhas propõe-se uma solução composta de uma estrutura de dados e uma função que computa os cálculos a cada ciclo de amostras. Dessa forma, espera-se obter economia de memória de programa e limitar a quantidade de malhas controlada apenas pela quantidade de memória de dados e pela relação de tempo de processamento e taxa de amostragem.

3) Monitor serial

Para fins de sintonia e monitoramento do sistema, é proposta uma função opcional chamada “*monitor()*” que implementa uma comunicação simples via porta serial assíncrona que permite a leitura e escrita de parâmetros e variáveis do controlador. O protocolo empregado deve permitir ler e alterar os valores de quaisquer parâmetros das diversas malhas de controle implementadas.

Esta função não é necessária para o funcionamento do controlador PID mas será útil para o levantamento das características do processo a ser controlador e a validação do desempenho do PID.

B. Tipos de dados e escalas

Tipos de dados influenciam a ocupação de memória e a velocidade de processamento de uma aplicação. Se em um computador pessoal com abundância desses recursos isso não constitui problema, em sistemas embarcados é uma preocupação constante do programador.

Na implementação de um controlador PID o mais óbvio seria adotar o tipo de dados ponto flutuante para as variáveis necessárias. Esse tipo de dado, contudo, ocupa mais espaço de memórias e mais tempo de processamento que variáveis inteiras. Neste trabalho serão utilizadas variáveis do tipo inteiro sinalizado de 16 bits sempre que possível, especialmente para os sinais de entrada e saída do controlador.

Outra preocupação importante é com relação a escala dos sinais, pois para o controlador funcionar deve haver coerência dessas escalas. Nesse projeto adotou-se que todas grandezas devem estar normalizadas para valores sinalizados com topo de escala em 32768.

C. Sincronismo e tempo de amostragem

Temporização é uma questão fundamental que demanda especial atenção. Antes de mais nada, deve-se considerar que um controlador PID baseia-se na amostragem de entrada e atualização de saída há uma taxa periódica t_S (s de *sample*, tempo de amostragem). Este valor é de fundamental importância para o cálculo dos parâmetros integral e derivativo do controlador.

Um sistema de processamento digital de sinais genérico é apresentado na figura 2 e é composto minimamente de um conversor A/D (analógico para digital), uma CPU (processador) e um conversor D/A (Digital para analógico). Dependendo da aplicação podem ser necessários filtros de entrada *anti-aliasing* e filtros de suavização de saída com os objetivos de atender as condições de Nyquist e eliminar os efeitos da amostragem no sinal, respectivamente.

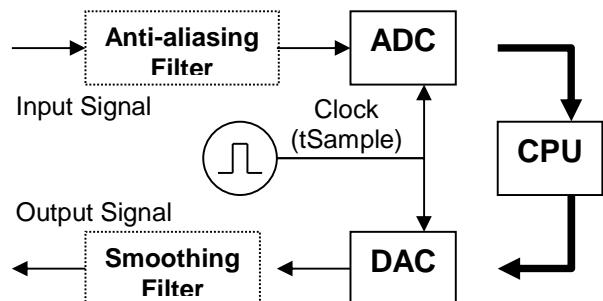


Fig. 2. Sistema de processamento digital de Sinais

A biblioteca desenvolvida foi pensada para um sistema onde o processador deve se encarregar de fazer a leitura das entradas analógicas (tAnIn), calcular os dados (tCalc) e atualizar a saída (tAnOut). Cada uma dessas atividades demanda um dado tempo de processamento que é função do frequência de *clock* (velocidade do processador) e da complexidade das operações (número de instruções a serem executadas). Além disso, se o sistema não está dedicado exclusivamente a tarefa de processamento de sinais, deve

existir tempo para outras atividades. Outras situações que não foram consideradas são quando existe um sistema operacional, o que aumenta ocupação do processador por troca de contexto e execução do *scheduler*, ou quando existe DMA (*Direct Memory Access*), o que reduz a ocupação do processador.

Para que um sistema de processamento digital de sinais seja viável o tempo total de processo de cada amostra ($t_{Proc} = t_{AnIn} + t_{Calc} + t_{AnOut}$) deve ser menor que o tempo de amostragem (t_{Sample}). Em outras palavras, o que define muitas vezes a taxa máxima de amostragem é a velocidade de processamento da CPU e não a velocidade de conversão dos conversores A/D e D/A. Como o foco desse trabalho são microcontroladores essa questão é crítica pois ao mesmo tempo não trabalham com frequência muito altas e não são otimizados para fazer cálculos (como o são os DSPs).

Outra questão importante é que para a taxa de amostragem ser respeitada os processos devem iniciar nos momentos corretos. Isto é garantido quando as atividades de processamento são executadas em uma rotina de tratamento de Interrupção (RTI) de um *timer* e não na aplicação principal. A figura 3 apresenta genericamente como as diversas atividades do controlador se distribuem no tempo.

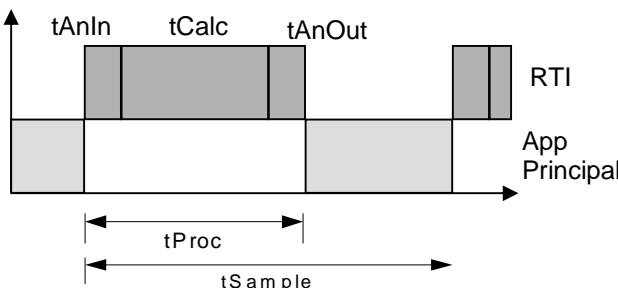


Fig. 3. Tempos em um sistema de processamento digital de sinais (sem uso de sistema operacional ou DMA)

III. RESULTADOS OBTIDOS

Como resultado dessa pesquisa foram desenvolvidos o Controlador PID, diversas funções HAL (Hardware Abstraction Layer – Camada de Abstração de Hardware) e um monitor serial, para fins de depuração e parametrização do controlador.

Também foi implementada uma aplicação de controle de temperatura em um microcontrolador de 8 bits PIC18F4550. A estrutura de arquivos desse projeto ficou da seguinte forma:

- Arquivos de Cabeçalho
 - Control (Pasta)
 - monitor.h
 - PID.h
 - HAL (Pasta)
 - HAL.h
 - HDI.h
- Códigos fonte
 - main.c

- HDI_PIC18F4550_XC8
- Control (Diretório)
 - Monitor.c
 - PID.c
- HAL (Diretório)
 - AnIn.c
 - AnOut.c
 - ISR.c

A. Biblioteca de funções

1) Camada de Abstração de Hardware – HAL

Na biblioteca de funções desenvolvida foram implementadas as seguintes funções de camada de abstração de hardware.

- HAL
 - void scanAnIn(void);
 - void refreshAnOut(void);
 - void ISRPID(void)
- HDI
 - void configTimer(int tSample);
 - void configAnIn(void);
 - int getAnIn(unsigned char channel);
 - void configAnOut(void);
 - void configSerialPort(int baudRate);
 - char getch(void);
 - void putch(char data)

2) Camada de controle

A camada de controle é composta das funções que realizam o controle PID propriamente ditas e são apresentadas abaixo. Abaixo é apresentada a função PIDEngine, que a função principal do controlador;

```
void PIDEngine(void){
    // PID controller engine
    unsigned char i,l;
    float tmp;

    for(l = 0; l < NLOOPs; l++){
        // e[i] = SP[i] - PV[i];
        loop[l].proc.e = loop[l].proc.SP -
                        loop[l].proc.PV;

        if((loop[l].proc.MV<29491)&&(loop[l].proc.MV>0))
        { //Anti WindUp
            loop[l].proc.eAcc =(long) (loop[l].proc.eAcc
                + (loop[l].proc.e + loop[l].proc.eAnt)/2);
        }
        tmp = (loop[l].ctrl.kC * loop[l].proc.e) +
              (loop[l].ctrl.kI * loop[l].proc.eAcc) -
              (loop[l].ctrl.kD * (loop[l].proc.PV -
                loop[l].proc.pvAnt));

        if (tmp >= 32767) loop[l].proc.MV = 32767;
        else if (tmp <= 0) loop[l].proc.MV = 0;
        else loop[l].proc.MV = (int) tmp;

        loop[l].proc.eAnt = loop[l].proc.e;
        loop[l].proc.pvAnt = loop[l].proc.PV;
    }
}
```

3) Monitor serial

Foi desenvolvido um *script* simples em SciLab para capturar, tratar e apresentar os dados dos ensaios.

Os gráficos apresentados na etapa de testes foram elaborados com os dados enviados por essa comunicação

B. Testes

Os testes foram realizados em uma planta simples de controle de temperatura composta por resistência e sensor de temperatura. Perturbações temporárias poderiam ser obtidas pelo acionamento de uma ventoinha. Foram considerados as seguintes condições no controlador.

TABELA I
CONDIÇÕES DE TESTE

Parâmetro	Valor
Malhas operando no controlador	2
Tempo de amostragem	250 ms
Set point	14746 (45°C)

1) Caracterização do processo a cálculo dos parâmetros

Para caracterização do processo foi utilizada a técnica de tempo de respostas e modelagem por função de primeira ordem com tempo morto. Foi aplicado um degrau na variável manipulada do processo de 10% para 90% e de 90% para 10% do topo de escala, respectivamente para ensaios de aquecimento e resfriamento. Os resultados obtidos são apresentados na tabela II.

TABELA II
CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Parâmetro	Aquecimento	Resfriamento	Média
Constate de tempo (t)	61,5 s	71,4 s	66,45 s
Tempo motor (θ)	13,0	7,6 s	10,3 s
Ganho (k_P)	0,334	0,236	0,285

Foram adotados os valores médios para cálculo dos parâmetros do controlador, utilizando o método Ziegler-Nichols. Na tabela III são apresentados os parâmetros para controladores com ação proporcional (P), proporcional e integral (PI) e proporcional, integral e derivativo (PID).

TABELA III
PARÂMETROS DOS CONTROLADORES

Controlador	k_C	t_I	t_D
P	22,635	-	-
PI	20,371	34,299	-
PI	27,162	20,6	5,15

2) Controlador P

A figura 4 apresenta o resultado obtido para o controlador P. Como é de se esperar para a ação proporcional isolada, o erro não é zerado.

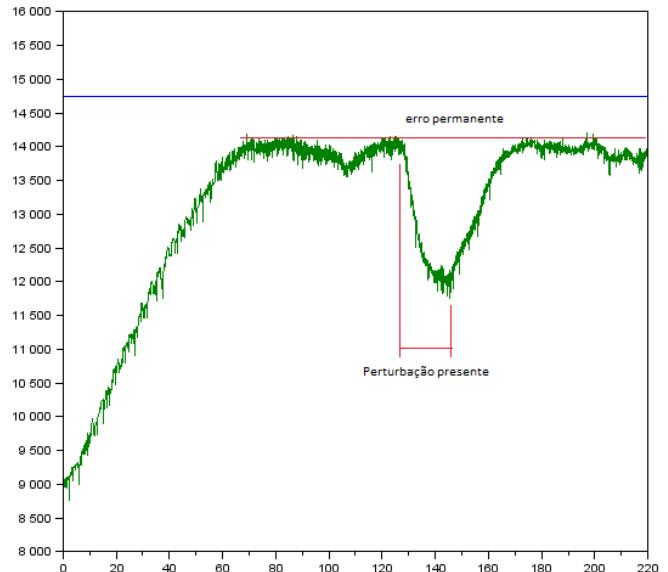


Fig. 4. Desempenho do controlador P

3) Controlador PI

Na figura 5 pode-se observar o resultado obtido com o controlador PI. Nota-se que o erro é zerado (em média) porém a custa de um tempo longo, devido ao leito efeito integral.

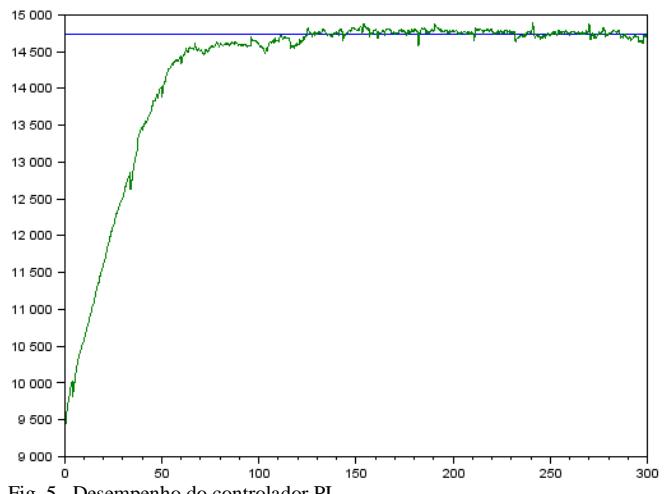


Fig. 5. Desempenho do controlador PI

4) Controlador PID

O resultado do controlador P pode ser observado na figura 6. Observa-se que chega-se mais rápido ao valor desejado além de um pequeno *overshoot* e pouca oscilação.

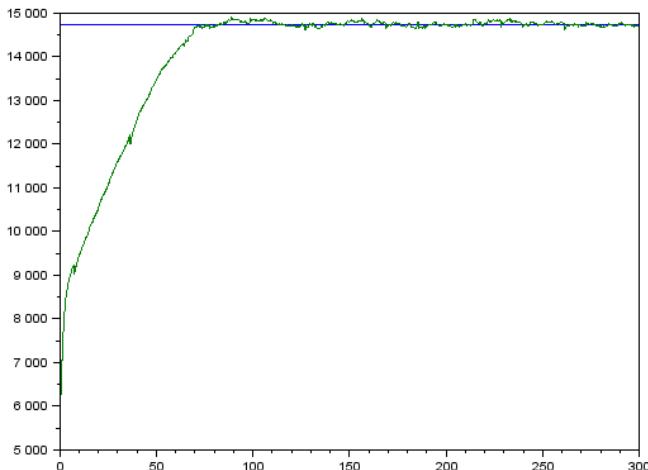


Fig. 6. Desempenho do controlador PID

5) Comparação entre o controlador PI e PID

As figuras 5 e 6 mostram que resultados similares foram obtidos com os controladores PI e PID. Na figura 7 as duas respostas são sobrepostas para melhor comparação.

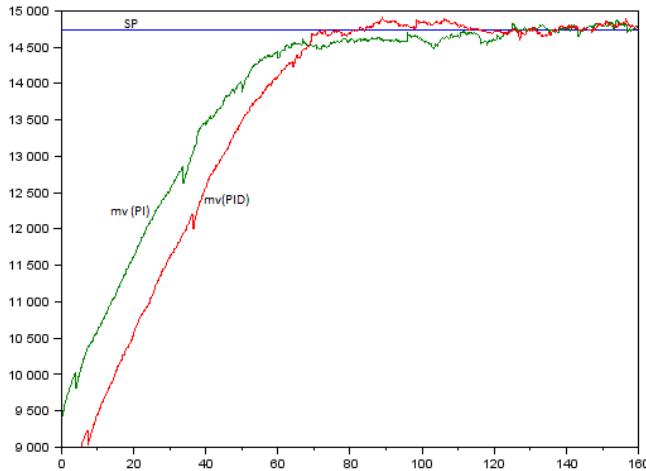


Fig. 7. Comparação entre os controladores PI e PID

Aparentemente o controlador PID apresenta um sinal igual ou melhor que o controlador, porém uma comparação dos sinais da variável de saída do controlador (mv) desses dois controladores mostra uma atuação muito mais oscilatória no controlador PID em função do efeito da derivada do sinal na presença de ruídos.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que os objetivos traçados foram atingidos. Espera-se que a biblioteca de funções aqui desenvolvida possa ter utilidade em trabalhos futuros sobre controle.

A implementação de um sistema de controle, mesmo simples, em sistema embarcado real apresenta diversos desafios e limitações. Condições como não linearidade,

ruído e tempos de resposta e processamento, tipicamente excluídos das discussões teóricas, merecem especial atenção dos desenvolvedores.

Apesar de um resultado similar no desempenho do controlador, a utilização da ação derivada leva a uma saída que oscila demasiado, devido a presença de ruído junto ao sinal. Em processos como o ensaiado (onde uma carga resistiva é chaveada) isso não é problema. Mas para alguns tipos de atuadores (por exemplo válvulas) o excesso de oscilação reduz a vida útil.

Como próximos passos desse trabalho podem ser tentadas implementações em outras plataformas para comprovar a portabilidade das funções. Uma evolução natural é a criação de rotinas de auto-sintonia do controlador.

REFERÊNCIAS

- [1] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2003.
- [2] GARCIA, C. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Eletrromecânicos, EDUSP, São Paulo, 1997.
- [3] KUO, B. C. Sistemas de Controle Automático, Prentice-Hall do Brasil, 4ª Edição, Rio de Janeiro, 1982.
- [4] HAYKIN, S.; VEEN, B. V. Sinais e Sistemas, Bookman, Porto Alegre, 1999.

Suporte de Painel Solar Síncrono

“Ajute de Azimute e Elevação Inteligente”

Rodrigo Otávio Rocha
Cardoso

Faculdade de Ciências
Sociais
Aplicadas de Extrema –
FAEX
engenharia2@faex.edu.br

Eduardo Victorino
Garrido Leite

Faculdade de Ciências
Sociais
Aplicadas de Extrema –
FAEX
duedu82@hotmail.com.br

Felipe Benedito Ramalho

Faculdade de Ciências
Sociais
Aplicadas de Extrema –
FAEX
feliperamalho.jm@gmail.com

Henrique Francisco de Paula

Faculdade de Ciências
Sociais
Aplicadas de Extrema –
FAEX
henriquefdepaula@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste artigo é propor um esquema para melhorar a eficiência dos painéis solares. Ao prender um painel em um suporte fixo o mesmo fica perpendicular ao sol pouco tempo do dia e ao longo do ano. Portanto o suporte proposto neste projeto permitirá que o painel se ajuste conforme o movimento do sol assim melhorando a eficiência de 30 a 40%, ou até mais, em ambos os sistemas “on-grid e off-grid”, em relação ao suporte fixo, tendo ajustes de azimute e elevação automáticos.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração fotovoltaica, apesar da oferta de sol, sofre a concorrência de outras fontes de energia igualmente abundantes e atualmente muito mais eficientes. Mesmo assim, a geração fotovoltaica é atrativa devido à possibilidade de pulverizar os geradores solares em pequenas unidades muito próximas às suas cargas, possibilitando a construção de sistemas autônomos de geração. Além disto, o Brasil está passando por uma crise com relação à geração de energia elétrica através das hidrelétricas o que evidencia os trabalhos voltados para fontes alternativas de geração de energia sendo uma delas energia solar. A geração solar convencional possui duas formas básicas, sistemas on-grid e off-grid, ambas para painéis fixos.

A. Sistema Malha Ativa

Este modo (figura 01) foi elaborado para que os painéis não precisem de baterias para armazenar a energia excedente, ela é injetada diretamente na rede elétrica onde é utilizada. Este ato gerará créditos, através do sistema da rede local padrão chamado *Net Metering*, que poderão ser utilizados nos períodos de pico. Além disto, possui diversos benefícios como baixo impacto na instalação, redução de perdas na transmissão e distribuição de energia já que a eletricidade é consumida onde é produzida. Edifícios e residências com tecnologia fotovoltaica geram mais eletricidade nos momentos de maior demanda no Brasil já que usamos muito ar condicionado e ventiladores no momento onde há mais sol.

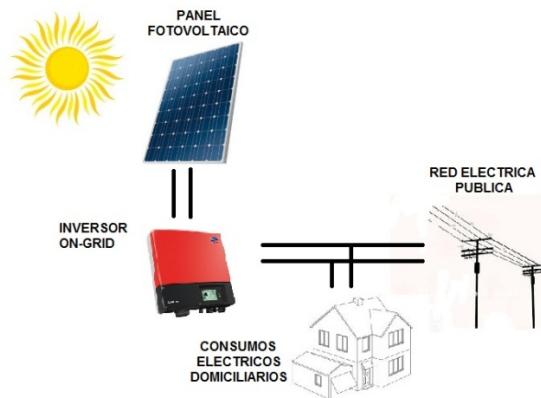


FIGURA 01 – Malha ativa

B. Sistema Estacionário

Mais conhecidos como sistemas isolados ou autônomos (figura 02), tem como principal característica não utilizar a energia da rede elétrica, levando energia onde não há energia da rede garantindo assim a sua autonomia. A energia gerada é armazenada em baterias estacionárias, onde o sistema é dimensionado para atender pequenas cargas como pequenas residências rurais, bombeamento de água, sistemas de telecomunicação, etc. Este sistema apresenta uma menor eficiência em relação ao on-grid, pois as baterias, por mais avançadas que estejam, apresentam uma perda no armazenamento da energia gerada. Porém, é válido ressaltar, que é muito eficiente onde não existe a disponibilidade da rede elétrica.

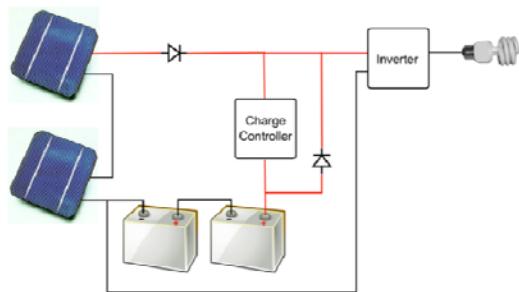


FIGURA 02 – Sistema estacionário

Utilizando o suporte inteligente em ambos os sistemas pode-se verificar um grande benefício. No sistema malha ativa o aumento da captação da energia solar resultará em mais lucro e no sistema estacionário, resultará em uma maior autonomia.

Com este foco, foram pesquisadas formas de posicionar os painéis automaticamente. Uma das formas encontradas foi a utilização de sensores de luminosidade (LDR). Além do sensor também foi pesquisada uma forma de controle de motores e leitura dos sensores o que direcionou o projeto para o uso de um microcontrolador da família PIC18F26K20, pois o mesmo tem todas as entradas e saídas de dados necessárias e possui um funcionamento com baixo consumo de energia.

II. PONTOS RELEVANTES A SEREM ANALISADOS NO PROJETO

Para desenvolver sistemas de controle automáticos para o suporte dos painéis solares, três pontos precisam ser observados/analizados no projeto, são eles:

A. Escolha do microcontrolador

A escolha da marca/modelo do microcontrolador é extremamente importante, pois todo o projeto será atrelado às tecnologias compostas pelo mesmo.

Como no projeto foi decidido trabalhar com o controle de motores de passo em 2 eixos (controle de elevação e azimute) e com um sensor de luminosidade do tipo LDR, o microcontrolador deveria possuir 8 saídas sendo 4 para cada motor de 4 polos e 4 entradas para o controle de fim de curso de cada motor, além de uma entrada analógica dedicada para o LDR realizar a leitura de luminosidade do ambiente.

Nosso projeto, utilizou o PIC18F26K20 (figura 03) da Microchip. Este foi escolhido pois o Kit pronto da centraliz atendia a necessidade do projeto.

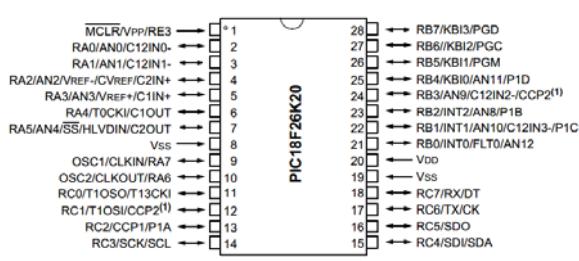


FIGURA 03 – PIC18F26K20

O PIC18F26K20 foi uma excelente opção para uso no projeto, pois contem 28 pinos e utiliza o encapsulamento SOIC, conforme a figura 04 que é um tipo de SMD bem compacto, ajudando a economizar espaço e sobrepeso ao nosso projeto. Sempre atentos ao consumo, tratando-se de eficiência, o foco foi atingir um consumo mínimo, utilizando um microcontrolador com o mínimo de portas possível.



FIGURA 04 – Encapsulamento (SOIC)

B. Escolha dos motores a serem utilizados

Por se tratar de movimentos bem suaves, desejar baixo consumo e ter a necessidade de pouco torque foi escolhido o motor de passo Modelo 28BYJ-48 (figura 05). Este apresenta simples interface (Drive) de controle e boa precisão nos movimentos.



FIGURA 05 – Motor de passo Modelo 28BYJ-48 – 5V

Os motores utilizados se mostraram adequados por serem pequenos e de baixo consumo, assim evitando o gasto desnecessário de energia durante a atuação do sistema.

Segue abaixo as especificações do motor e as dimensões são apresentadas na (figura 06):

Tensão nominal: 5VDC

Número de fases: 4

Relação de variação na velocidade: 1/64

Ângulo: 5.625° /64

Frequência: 100Hz

Resistência DC: 50Ω±7%(25°C)

Torque 300-1200 gf.cm

Aumento na temperatura <40K(120Hz)

Ruído <35dB (120Hz, sem carga ,10cm)

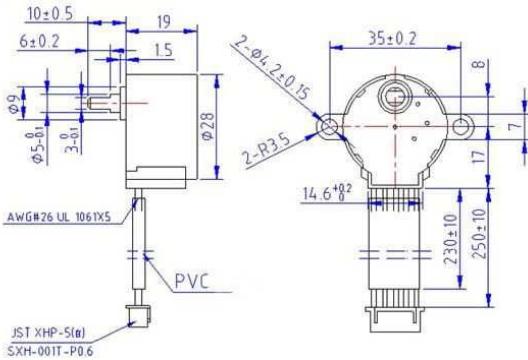


FIGURA 06 – Dimensões do motor de passo Modelo 28BYJ-48 – 5V

C. Quanto à interface do motor “driver”

O driver (figura 07) utilizado faz parte do conjunto adquirido junto com o motor de passo, sendo utilizado como interface entre o motor de passo e a placa PIC-Centraliz.

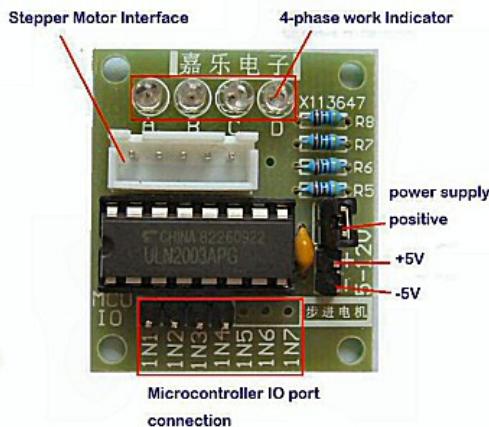


FIGURA 07 – Driver motor de passo.

D. Escolha do sensor de luminosidade

O sensor LDR (*Light Dependent Resistor*, figura 08) é um resistor especial que varia sua resistência elétrica de acordo a quantidade de luz que incide sobre sua superfície. Utilizando um conversor A/D do microcontrolador foi possível converter a grandeza intensidade luminosa, vinda de um circuito utilizando o LDR, em uma grandeza elétrica digitalizada.

Toda a lógica de funcionamento do sistema foi idealizada a partir do comportamento do LDR (figura 09).

O tamanho do LDR disponível e escolhido para este projeto protótipo foi de 3mm.



FIGURA 08 – Sensor de luminosidade LDR

A figura 09 apresenta a curva de resposta de um LDR com relação à resistência e luminosidade.

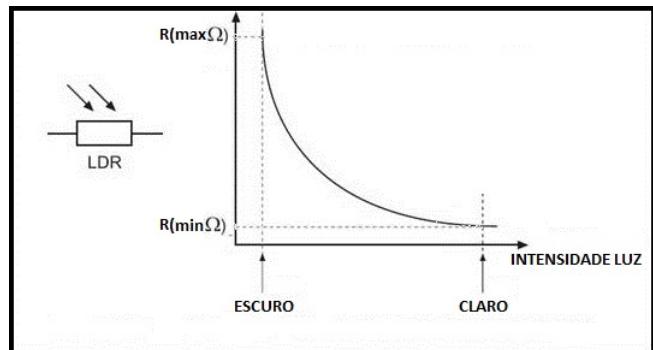


FIGURA 09 – Resposta do sensor LDR

E. Escolha da Chave tipo Reed Switch

O *reed switch* ou interruptor de lâminas, como o nome sugere é um interruptor ou chave que pode ser acionado pelo campo magnético de uma bobina ou de um imã. Neste projeto ele será utilizado como sensor de fim de curso, desta forma, foi escolhido o tipo mais comum, o interruptor simples de lâminas, normalmente aberto, que tem sua estrutura mostrada na (figura 10).

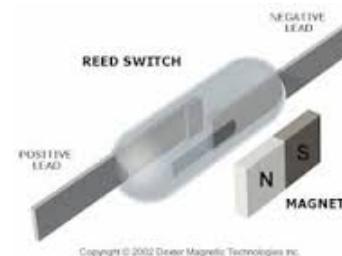


FIGURA 10 – Chave reed switch.

III. DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

O diagrama em blocos da figura 11 apresenta a ideia central do sistema e a interconexão entre as principais partes citadas.

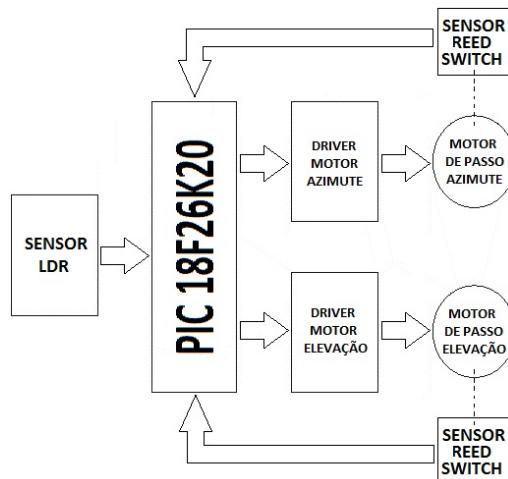


FIGURA 11– Diagrama em blocos do sistema

A. Base giratória “suporte principal eixo de azimute”

No eixo de azimute está conectado um motor de passo junto com uma pequena engrenagem que é acoplada através de uma correia dentada á uma engrenagem maior para que deixe mais leve a base giratória, exigindo menos força do motor (figura 12). Este motor está conectado a um drive que por sua vez está conectado ao microcontrolador. A base do eixo de azimute gira com um ângulo de 180° graus no sentido anti-horário seguindo o período de rotação da Terra.



FIGURA 12 – Motor de passo no eixo de Azimute

B. Base giratória “suporte principal do eixo de elevação”

O segundo motor (figura 13) está conectado ao segundo eixo que controla a elevação. Ele é iniciado em 0 graus e a cada ciclo de varredura do eixo de azimute se ajusta na declinação com passo aproximado de 10 graus, fazendo a varredura do melhor ângulo. O ciclo se repete até estabilizar com o sincronismo do sol seguindo o processo de translação da Terra obtendo ângulo máximo de 90° em relação ao inicio do ciclo. Ao atingir o ângulo máximo, o painel retorna ao ponto inicial, respeitando os mesmo passos de 10 graus, e reinicia o ciclo. Este motor está conectado ao drive que por sua vez está conectado ao microcontrolador.

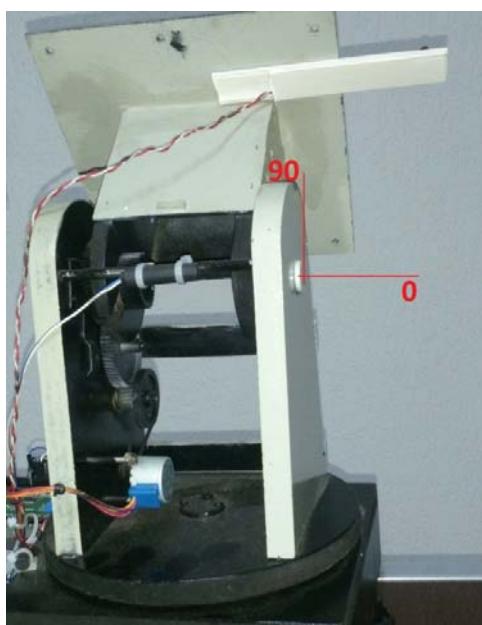


FIGURA 13 – Motor de passo no eixo de elevação

IV. DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O software tem como principal função analisar a luminosidade do ambiente, através do sensor LDR, e atuar nos motores visando atingir o melhor posicionamento do painel para a máxima captação solar.

Inicialmente, o software verifica se o painel está na posição inicial e, caso não estiver, ele prepara o sistema para o inicio da varredura gerando a seguinte configuração: 0 grau na base giratória de eixo de azimute e zero grau no eixo de elevação.

Na base fixa do suporte do eixo de azimute foram instaladas chaves, do tipo *reed switch*, no inicio e no fim do percurso, de 0 a 180 graus (figura 14), e na base giratória foi instalado um pequeno imã que realizará o acionamento das *reed switches*.



FIGURA 14 – Motor de passo no eixo de elevação

Considerando que a base se encontra na posição inicial, ela estará preparada para girar sentido anti-horário até que o LDR retorne um valor relativo à intensidade da luminosidade. Neste momento o software sai da rotina de ajuste e só retorna assim que houver baixa intensidade de luminosidade. Este ciclo é realizado até o suporte atingir a chave de fim do curso de 180 graus, neste momento a base retorna a condição inicial sem verificar a luminosidade, dando inicio a um novo ciclo diário.

Caso o sistema complete esse ciclo sem que o sensor de luminosidade “LDR” seja acionado, nesta varredura de 0 a 180 graus, ao retornar na condição inicial o software entende que há necessidade do segundo motor, que controla o eixo de elevação, atue declinando em aproximadamente 10 graus. Assim a base entende que deve dar inicio a nova varredura, porém agora em outro ângulo, e se não atuar o sensor de luminosidade “LDR” este ciclo se repete por 10 vezes para até que atinja o ângulo de 90 graus no eixo de declinação assim encontrando a melhor posição do painel em relação ao período anual do ciclo do sol.

Ao atingir o ângulo de 90 graus, na declinação deste eixo, retorna da mesma forma de 10 em 10 graus agora no sentido de elevação até que atinja 0 grau, onde um sensor tipo *reed switch* identifica e completa o ciclo de declinação e elevação (figura 15). Agora, pronto para repetir novamente, sempre varrendo todas as posições possíveis visando encontrar a maior incidência de luz no painel.

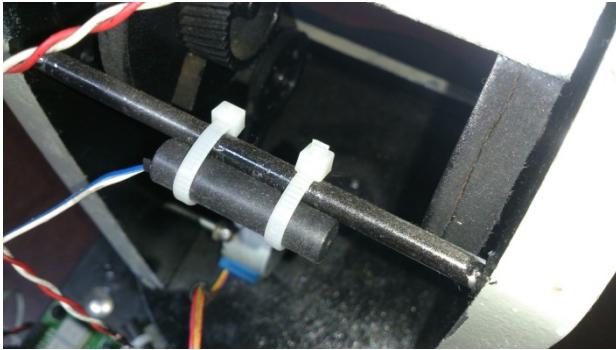


FIGURA 15 – Sensor *reed switch* do eixo de elevação.

A. Placa PIC Centraliz

A placa PIC Centraliz (figura 16) possui todos os periféricos que o nosso projeto necessita. Possui portais de entrada digitais para a leitura dos sensores tipo reed switch, saídas digitais para o acionamento dos motores de passo e um conversor A/D para leitura do sensor LDR. O software se encarrega de verificar os portais, decodificar as informações e executar, se necessário, uma ação.



FIGURA 16 - Placa PIC Centraliz

B. Compilador Utilizado para gravar o software

O Compilador utilizado para desenvolvimento e gravação do software é o PIC C Compiler (figura 17).

O software foi concebido visando que a base sempre pare na posição exata do sol, utilizando assim o conceito de ciclos de varreduras e ajustes na elevação e no azimute.

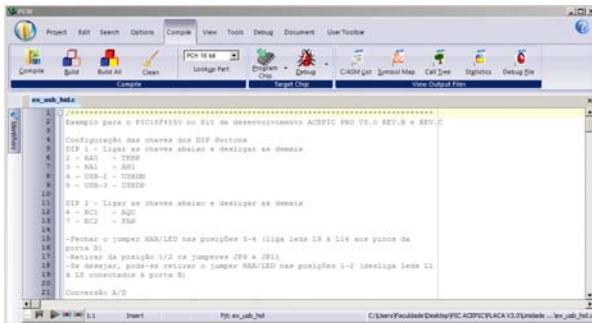


FIGURA 17 – Software PIC C COMPILER.

A linguagem de programação utilizada para desenvolvimento do firmware é a C padrão ANSI.

V. CONCLUSÃO

O projeto apresentou o desempenho proposto. O circuito do sensor LDR atuou com boa precisão e o Microcontrolador interagiu de forma adequada com os motores de passo. Quanto à eficiência do painel acoplado a base “inteligente”, foi verificada através do gráfico (figura 18) que dentro dos horários no inicio da manhã e fim de tarde, onde o sol está em posições desfavoráveis ao painel fixo, a incidência de luz é maior, dando ao painel solar mais eficiência através da melhoria do seu ciclo diário.

Para ambas as tecnologias malha ativa ou sistema estacionário, a proposta apresentou melhorias, pois apesar do movimento do sol, o painel se ajusta buscando a maior incidência de luz possível, tornando-o mais eficiente durante o período do sol.

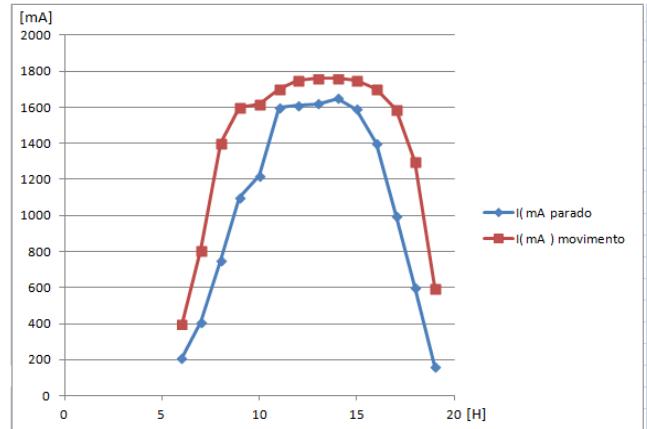


FIGURA 18 – Eficiência do produto

A figura 19 apresenta a foto do protótipo finalizado, onde a ideia foi aplicada com sucesso.

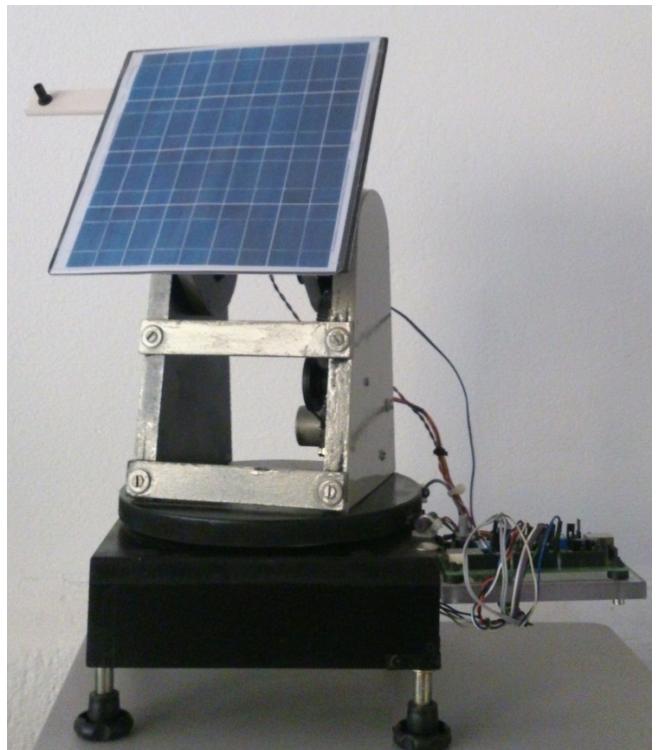


FIGURA 19 – Protótipo do Suporte Painel Solar Síncrono

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Souza, Daniel Rodrigues de e Souza, David José de. Desbravando o Micro Controlador PIC 18. Edição 19, 2012.
- [2] Souza, David José de e Lavinia, Nicolas César. Conectando o PIC – Recursos Avançados. Edição 4, 2007.
- [3] Zanco, Wagner da Silva. Microcontroladores PIC – Técnicas de Software e Hardware dos Projetos de Circuitos Eletrônicos. Edição 2, 2008.
- [4] Souza, Vitor Amadeu. Projetando com os Microcontroladores da FamíliaPIC 18. Edição ano 2007.
- [5] <<http://www.paineissolaresfotovoltaicos.com/>>. Acesso em: 20 dez. 2014. (informação do sistema on-grid e off-grid)
- [6] <<http://www.portal-energia.com-teoria-funcionamento-energia-solar-fotovoltaic/>>. Acesso em: 19 dez. 2014.
- [7] <<http://www.ipfconsultoria.com.br/site/>> (referencias a sistemas energia solar.)
- [8] <http://robocraft.ru/files/datasheet/28BYJ-48.pdf> (datasheet do motor de passo)
- [9]]<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/gelisim/elektronik/dosyalar/40/LDR_NSL19_M51.pdf> (datasheet LDR)

Sistema de Monitoramento de Plantações

Luiz Cláudio de Andrade
Júnior

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
luiz.junior@gec.inatel.br

Vitor Ivan D'Angelo

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
vitor.dangelo@gec.inatel.br

Pedro Lúcio Leone Andrade Júnior

Instituto Nacional de Telecomunicações
- Inatel
pedro.junior@gec.inatel.br

Wellington Cássio Faria

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
wellingtonf@gec.inatel.br

Ana Letícia Gomes
Gonçalves

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
ana.leticia@inatel.br

Resumo— O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de monitoramento remoto para cultivo em áreas abertas, mas especificamente os cultivos de morango. O sistema é dotado de uma rede de sensores sem fio de temperatura e umidade do ar e do solo, velocidade e direção do vento, pluviômetros e GPS, potencializando a agricultura de precisão. Procura-se com esse trabalho automatizar o controle dessas variáveis com fins a garantir a melhor produtividade e reduzir a mão de obra, além de potencializar atividades como irrigação, controle de pragas e doenças.

I. INTRODUÇÃO

O Sul de Minas Gerais abriga as cidades com maior produção de morangos. A área cultivada em Minas Gerais saltou de 172 hectares para 1,6 mil hectares, expansão de cerca de 49% ao ano nos últimos dezoito anos [1].

A atividade em todas as suas cadeias emprega cerca de 30 mil pessoas em Minas Gerais. A colheita de morangos no estado chegou a 89,4 mil toneladas em 2012. A região Sul responde por 90% do total do Estado, com 27 municípios produtores. Minas Gerais é o principal produtor, com 63% do mercado nacional [2]. A região sul mineira possui um clima favorável e bem definido para cultivo, pois locais com temperatura alta durante o dia e baixa durante a noite são considerados bons para o cultivo do morangueiro. O calor é importante para o crescimento vegetativo das plantas, enquanto o frio é imprescindível para a frutificação. A região em questão apresenta temperaturas baixas, chegando a atingir marcações próximas de 0°C, e registra os maiores índices pluviométricos do Estado, características que favorecem e também trazem riscos ao plantio de morangos.

A chuva e a geada prejudicam o desenvolvimento da flor do morango, secando a flor no pé e a chuva mofando o fruto. O tempo úmido é propício para as doenças, como o mofo cinzento. Além disso, o frio intenso atrasa o ciclo da fruta em

mais de 10 dias. Na manhã do dia 29 de Julho de 2012 a região sofreu uma forte geada que foi responsável pelo prejuízo de certa de 80% na produção regional [3].

De maneira geral, a quebra da produção impacta diretamente na qualidade de vida dos produtores, já que o cultivo da espécie em questão é realizado, basicamente, na forma de agricultura familiar. Portanto, é necessário buscar novos métodos para auxiliar na redução das perdas produtivas. Entre eles, aparece o sistema de monitoramento remoto para coleta de elementos climáticos que auxilia o acompanhamento das variáveis climáticas, as quais influenciam diretamente no rendimento e na qualidade dos produtos agrícolas.

Neste contexto, este trabalho apresenta uma proposta de sistema de monitoramento remoto, denominado SPIn, empregado na construção de uma base de dados que analisa variáveis climáticas, alertando os riscos à produção. O sistema é capaz de detectar condições favoráveis para a ocorrência das geadas, planejar a duração do ciclo e estimar as melhores épocas de semeadura. Ademais, determina o número de geração de pragas e pode prever doenças nas plantações. Portanto, propõe-se o uso do sensoriamento remoto visando o aumento da produtividade e segurança da produção, além de o melhor aproveitamento dos insumos e da eficiência hídrica.

II. DESENVOLVIMENTO

A. O projeto

O sistema é composto de 3 unidades: uma unidade de transmissão e duas unidades de coletas distintas, de coleta de dados atmosféricos e do solo.

Os dados coletados pelas unidades de coleta dos respectivos sensores são enviados pela unidade de transmissão a um banco de dados disponível em servidor WEB. Um aplicativo WEB apresenta ao agricultor as leituras dos sensores e os resultados de análise do risco de pragas, doenças e risco climático, além de indicar os melhores processos de irrigação. O aplicativo é dotado de um sistema de alerta que envia SMS e e-mail ao

detectar algum risco à plantaçāo.

As partes do sistema foram denominadas UCA (Unidade de Coleta do Ar), UCS (Unidade de Coleta do Solo) e Unidade de Transmissão (UT). A UCA é instalada na área na qual se deseja fazer o monitoramento da temperatura e da umidade do ar e a velocidade e direção do vento e as UCS onde se deseja fazer o monitoramento da temperatura e da umidade do solo. As informações lidas pelas UCAs e UCSs são transmitidas para UT, utilizando o protocolo Zigbee e, por sua vez a UT envia as informações para o banco de dados MySQL em servidor WEB, através do protocolo TCP/IP.

A Figura 1 ilustra o processo de operação do sistema, sendo:

- 1 – Server-Pin (UT)
- 2 – Max-Pin (UCA)
- 3 – Mini-Pin (UC)
- 4 – Banco de Dados
- 5 – Aplicativo WEB (PC)
- 6 – Aplicativo WEB (Mobile)



Figura 1- Sistema de Monitoramento Remoto

O sistema foi projeto para que fosse possível instalar várias UCAs e UCSs em uma mesma área, devido ao conceito de rede: cada unidade de coleta possui um código de identificação possibilitando ao sistema o seu reconhecimento e sua localização geográfica através dos módulos GPS. O aplicativo WEB, desenvolvido em JSF, consome as informações do banco de dados e é possível gerar gráficos de temperatura e umidade do ar e do solo, velocidade do vento de todas unidade de coletas ou de unidade isoladas. Por fim, também são informados os riscos epidemiológicos e climáticos.

B. Cálculos variáveis climáticas

As variáveis necessárias para que o cultivo tenha produtividade são: quantidade de frio requerida para o término do repouso e início do desenvolvimento reprodutivo (NHF), soma térmica, determinação do número de gerações de uma praga, estimativa da duração do período de molhamento (DPM), velocidade crítica do vento, estimativa de evapotranspiração e radiação.

O NHF é definido como o número de horas em que a temperatura do ar permanece abaixo de determinada temperatura crítica durante certo período, geralmente, igual a 7°C, para culturas mais exigentes, e 13°C, para culturas menos exigentes. Quando a necessidade de frio não é suficiente, são necessárias algumas práticas culturais especiais e o uso de produtos químicos para a quebra da dormência [4]. Desta forma, quando o NHF não é satisfatório e o inverno se caracteriza por temperaturas mais elevadas, há baixa

percentagem de brotação. Como consequência, forma-se baixo número de ramos e de esporões laterais, com floração e brotação desuniformes, afetando a produção. Assim, medir tal grandeza pode antecipar possíveis alterações nas condições que afetam a produção.

A soma térmica é obtida a partir da determinação da temperatura basal. Obtendo-se tal grandeza em função da temperatura do ar, possibilita-se realizar o planejamento da duração do ciclo, estimar as melhores épocas de semeadura e determinar o número de gerações de uma praga na região.

O molhamento foliar é um termo geral utilizado para designar a presença de água na forma líquida sobre a parte aérea dos vegetais. A duração do molhamento é de grande importância para epidemiologia de doenças de plantas, uma vez que a permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha um papel fundamental em alguns processos epidemiológicos tais como a infecção e a esporulação [5]. O DPM tem grande influência no desempenho de modelos de previsão de doenças [6].

O vento está diretamente associado ao desenvolvimento das plantas ao facilitar as trocas de calor, de dióxido de carbono e de vapor d'água entre a atmosfera e a vegetação, além de ajudar no processo de polinização das flores. Entretanto, quando se registram ventos de velocidades elevadas, normalmente de curta duração, os seus efeitos passam, geralmente, a ser danosos, provocando o estímulo excessivo à evapotranspiração, o acamamento das plantas, a queda de flores e frutos, a quebra de galhos e arrancamento de plantas, causando a erosão dos solos. O vento e a temperatura são fatores que contribuem para acontecimento ou não das geadas.

A água evapotranspirada num sistema solo-planta-atmosfera torna-se numa informação primordial nos projetos de irrigação, determinando o sucesso do empreendimento, tanto economicamente quanto em termos ambientais. A aplicação excessiva de água através da irrigação, além de ocasionar seu desperdício, provoca lixiviação dos elementos minerais que atingem as fontes de água causando contaminação, redução ou mesmo impedimento da difusão do oxigênio no solo, o que provoca efeitos negativos na cultura - em decorrência da redução dos processos metabólicos devido à maior dificuldade no processo respiratório da cultura - acarretando efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das plantas, com reflexo negativo na produção e na qualidade do produto [7].

Partir da análise dos dados faz com que o sistema se torne uma grande ferramenta de tomada de decisão para os produtores, reduzindo custos, risco e garantindo a produção.

C. O Protótipo

O desenvolvimento do protótipo SPIn foi executado durante a maior parte da duração desse trabalho (cerca de 10 meses). A solução mostrou-se complexa devido ao fato de requerer uma grande quantidade de conhecimento nas mais diversas áreas da Engenharia da Computação.

A Figura 2 ilustra a solução de hardware adotada, destacando o Mini-Pin, Max-Pin e Server-Pin

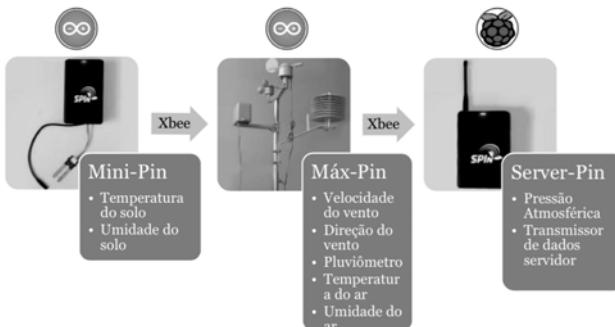


Figura 2- Solução de Hardware

O *hardware* foi um grande desafio, pois a cada teste era encontrado um problema que demandava uma mudança no servidor WEB e no *firmware* do próprio hardware. A arquitetura escolhida para o Mini-Pin e o Max-Pin foi o Arduino, devido a facilidade de integração entre os módulos sensores existentes. É possível visualizar que o Max-Pin é uma pequena estação climática que, para o projeto, foi adquirida de forma integrada.

O maior problema encontrado no *hardware* foi a conexão do módulo GSM devido ao conflito com a conexão do módulo Xbee (Zigbee) utilizados no Server-Pin quando o mesmo foi implementado com o Arduino. Para prosseguir com o projeto, foi preciso mudar de plataforma, substituindo o Arduino UNO por uma Raspberry Pi B, e o módulo GSM por um Xbee, o que limitou a mobilidade do sistema.

Em futuras atualizações do SPIn, o módulo GSM voltará a fazer parte do projeto devido a sua importância e abrangência de conexão com os equipamentos em campo.

O desenvolvimento do servidor WEB e do aplicativo WEB demandou um profundo estudo do *framework* JSF, aperfeiçoamento do conhecimento em programação Java, HTML5, CSS, JavaScript e SPRING MVC.

O servidor WEB tinha a funcionalidade de receber os dados enviados pelo Server-Pin e salvá-los no banco de dados MySQL. Para verificar a funcionalidade, foi desenvolvida uma aplicação Back-End, cujo resultado de teste pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3- Aplicação Back-End

A aplicação WEB permitia a consulta das informações válidas para o produtor, sendo que grande parte delas eram convertidas em gráficos, ilustrados na Figura 4.

Gráfico de evapotranspiração

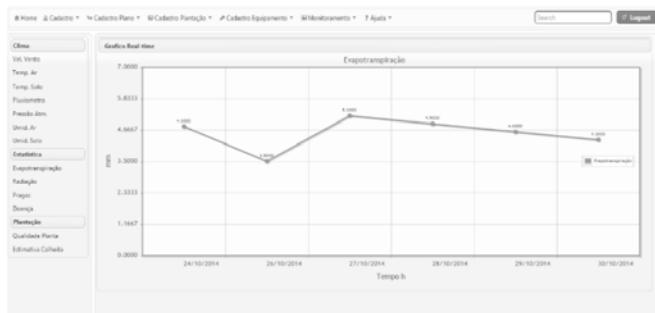


Gráfico de pragas e doenças



Qualidade da planta

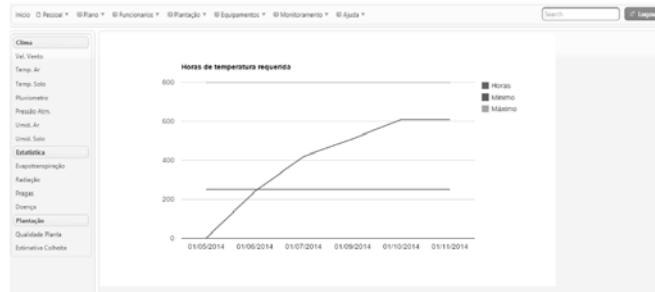


Gráfico de estimativa de colheita



Figura 4- Consulta à Aplicação WEB

III. CONCLUSÕES

O Brasil vem investindo fortemente em agricultura baseada em Ciência e Tecnologia a partir dos anos 2000, o que aumentou a produtividade, a diversificação do cultivo, segurança e qualidade dos alimentos com velocidade e eficiência superiores aos tradicionais produtores em outras partes do mundo. Com o uso de modernos sistemas de monitoramento de condições climáticas para a agricultura, os índices de desenvolvimento serão ainda maiores do que o atual, pois mesmo com os avanços até agora alcançados, embora relevantes, dificilmente garantirão competitividade

com sustentabilidade no futuro.

Sistemas de monitoramento como o SPIIn são recursos de vital importância para o desenvolvimento da agricultura brasileira, pois promovem a redução dos custos de produção, aumento de produtividade, aumento da qualidade da produção, uso sustentável da água e de insumos químicos no meio ambiente.

O projeto SPIIn, apesar de estar parcialmente pronto, já está em funcionamento. Os sensores enviam os dados lidos para o banco de dados e estes dados podem ser consultados pela plataforma WEB. Porém, ainda existem grandes desafios a serem superados, como por exemplo, a adaptação de um módulo GPRS ao Server-Pin que é uma peça fundamental para envio dos dados para o Servidor WEB, utilizando da rede de telefonia móvel. E ainda, a adoção de um sistema de inteligência artificial e redes neurais para prover o diagnóstico de possíveis doenças e pragas de maneira mais precisa.

Os resultados dos testes aplicados ao sistema SPIIn foram satisfatórios, porém é necessário realizar testes em campo para validar o sistema em ambiente real, com chuva, vento, geada, sol em excesso para comprovar a robustez dos equipamentos e validar as informações calculadas pelo sistema.

REFERÊNCIAS

- [1] Secretaria de Estado e Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. Cultura do morango em Minas completa 50 anos. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/noticias/695>. Acessado em: 15 de outubro de 2013.
- [2] SILVA, Assessoria de Comunicação da Emater-MG. Produtores de morango diversificam a produção em busca de renda maior. Em www.agricultura.mg.gov.br/noticias/2693-produtores-de-morango-diversificam-a-producao-em-busca-de-renda-maior. Acesso em 10 out. 2013.
- [3] G1 Sul de Minas. Após geada, prejuízo pode chegar a 80% na produção de morangos. Disponível em: <http://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2013/07/apos-geada-prejuizo-pode-chegar-80-na-producao-de-morangos.html>. Acessado em: 15 de outubro de 2013.
- [4] Caramori, P. H.; Caviglione, J. H.; Wrege, M. S.; Herter, F. G.; Hauagge, R.; Gonçalves, S. L.; Citadin, I.; Ricce, W. S. Zoneamento agroclimático para o pêssego e a Nectarineira no estado do Paraná. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.
- [5] Medeiros, A. R. M. de; SANTOS, ALVERIDES MACHADO DOS. Sistema de produção do Morango – Práticas Culturais. Embrapa. 2005. Disponível em <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/sistemas/morango/cap04.htm>. Acessado em: 15 de outubro de 2013.
- [6] Dalla Marta, A.; Orlandini, S.; Ghironi, M.; Sabatini, F. Influence of different sensor positions on leaf wetness measurements and their effect on the simulation of grapevine downy mildew (*Plasmopara viticola*). Idojárás, Budapest, v. 108, p 253-263, 2004.
- [7] Embrapa Algodão, Sistemas de Produção, 3 - 2a. edição ISSN 1678-8710 Versão Eletrônica Set/2006.

Controle de navegação via Internet de um robô utilizando tecnologia Arduino

Hallan Rafael Marques
Moreira

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
hallanrafael@get.inatel.br

Rafael Macedo de Almeida

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
rafaelmacedo@gec.inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
ynoguti@inatel.br

Resumo—Com o objetivo de criar um sistema de controle remoto mais eficiente, foram criadas soluções, utilizando Arduino, para locomover pelo menor caminho e desviar de obstáculos, um robô em qualquer ambiente que foi previamente mapeado.

Palavras chave— Navegação autônoma, Bluetooth, Dijkstra, robôs móveis.

I. INTRODUÇÃO

Robôs são hoje usados para diversas tarefas que antes eram feitas somente por humanos, como por exemplo, um robô móvel autônomo para aplicações para agricultura, onde substitui a pessoa em atividades inóspitas em estufas, como a pulverização com inseticidas.

Sendo que robô móvel pode ser definido como: dispositivo mecânico montado sobre uma base não fixa, que age sob o controle de um sistema computacional, equipado com sensores e atuadores que o permitem interagir com o ambiente [1].

Porém existem dois subproblemas no controle de robôs móveis, que são: 1) navegação , que determina a posição e orientação do robô em um instante de tempo, e 2) guiagem, que se refere ao controle da trajetória.

Para a correção desses erros, foram desenvolvidos alguns métodos de locomoção, que são classificadas da seguinte forma:

1)- Deliberativas, que transcreve o processo de planejamento e tomada de decisão do homem para que o robô execute uma determinada atividade [2]. O sistema do robô utiliza do conhecimento armazenado em um modelo interno do mundo que pode ser construído a partir do conhecimento prévio do ambiente e das informações sensoriais do robô. Com essas informações, o sistema a utiliza para prever o resultado de suas ações, desse modo é possível otimizar o seu desempenho. Porém se a informação é imprecisa isso pode causar alguns erros, pois em um mundo dinâmico onde os

objetos podem se mover (por exemplo, um corredor lotado) é perigo usar esse método porque as informações armazenadas já podem ser não válidas.

O robô pode ter representado o modelo do mundo de algumas maneiras: simbólico e geométrico. O primeiro modelo é baseado em lógica, utilizando a inteligência artificial. Já o segundo modelo o ambiente é representado espacialmente por espaços livres e por regiões com obstáculos (mapas).

2)- Reativas, que é composta por uma série de comportamentos que relacionam condições sensoriais a um conjunto de ações do robô. Nessa abordagem é evitada a utilização de um modelo do mundo. Desse modo, este método é bastante utilizado para possibilitar a implementação de sistemas de controle que respondam rapidamente a uma variedade de ocorrências ou situações no ambiente. Isso devido à simplicidade no tratamento das informações sensoriais e a forma direta pela qual a percepção está associada com uma ação ou resposta [2].

3)- Híbrida, utiliza deliberação para planejar as ações do robô a partir de uma representação interna do conhecimento do mundo. Quando as ações já foram planejadas, a execução é feita utilizando reatividade, que responde em alta velocidade a mudanças dinâmicas no ambiente. Desse modo, o método Híbrida busca ser apropriado para soluções de problemas complexos atingindo objetivos de maneira ótima e eficiente [3].

Alguns exemplos de aplicações do método Híbrido são: controle de tráfego aéreo, controle automotivo, automação da manufatura, controle de processos químicos e robótica [4].

Para este trabalho foi escolhido a arquitetura de navegação híbrida, onde o raciocínio deliberativo é utilizado para a execução do planejamento das atividades que devem ser realizadas, e o raciocínio reativo é utilizado para executar tarefas planejadas, como o conjunto de sensores que realizam a percepção do ambiente.

II. ARQUITETURA DE NAVEGAÇÃO HÍBRIDA

A arquitetura híbrida é responsável por definir a função da

parte deliberativa e reativa dentro do sistema de controle inteligente do robô. Também define como cada uma destas partes estão organizadas, onde e como é feita a interface de coordenação entre deliberação e reação dentro do sistema [2].

Algumas estratégias de interação entre deliberativas (planejamento) e reativas (execução do plano de ação) são [5]:

- I. Seleção: o planejamento atua na configuração do sistema de execução.
- II. Conselho: o planejamento provê conselhos para o sistema de execução.
- III. Adaptação: o planejamento realiza continuas adaptações no sistema de execução.
- IV. Adiamento: o planejamento é realizado somente quando necessário.

A arquitetura híbrida possui uma representação da divisão da funcionalidade do sistema em módulos ou componentes funcionais, sendo eles [6]:

A)- Sequenciador: gera um conjunto de comportamentos para serem usados na execução de um plano de ação.

B)- Gerenciador de recursos: aloca recursos para os comportamentos. Por exemplo, determina qual sensor é mais adequado para cada situação.

C)- Cartógrafo: responsável por armazenar e manter atualizados os mapas e informações espaciais, além de ser responsável pelos métodos de acesso a esses dados.

D)- Planejador da Missão: interage com o usuário humano para definir e construir planos para realizar a missão.

E)- Monitor de Desempenho: permite que se perceba se está tendo progresso na realização da tarefa.

Para uma melhor representação da funcionalidade da arquitetura escolhida, segue a Figura 1:

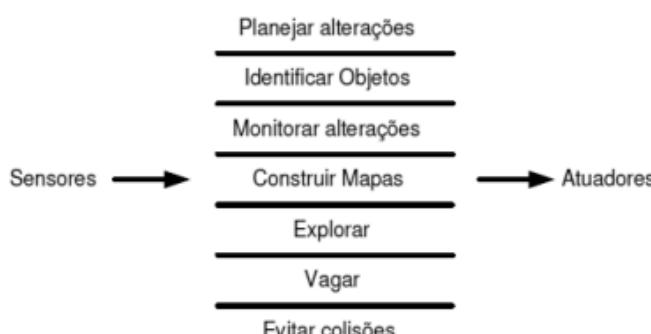


Figura 1 – Arquitetura de navegação híbrida [7]

Para realizar a representação do modelo do mundo real para o robô de forma geométrica se fez necessário à utilização da teoria de grafos. Sendo que temos como definição: abstração que permite codificar relacionamentos entre pares de objetos.

Para calcular o menor caminho entre dois pontos foi escolhido o algoritmo de Dijkstra, que foi concebido pelo cientista da computação holandês Edsger Dijkstra em 1956. Este funciona da seguinte forma [8]: parte de uma estimativa inicial para o custo mínimo e vai sucessivamente ajustando esta estimativa. Ele considera que um vértice estará fechado quando já tiver sido obtido um caminho de custo mínimo do vértice tomado como raiz da busca até ele, caso contrário ele estará aberto. Quando todos os vértices tiverem

sido fechados, os valores obtidos serão os custos mínimos dos caminhos que partem do vértice tomado como raiz da busca até os demais vértices do grafo. Como exemplo tem-se o seguindo pseudocódigo:

Para todo vértice j ainda aberto que seja sucessor de k faça:

- Some a estimativa do vértice k com o custo do arco que une k a j;
- Caso esta soma seja melhor que a estimativa anterior para o vértice j, substitua-a e anote k como precedente único de j;
- Caso esta soma seja igual à estimativa anterior para o vértice j, adicione k ao conjunto dos precedentes de j;

Como exemplo, segue Figura 2,3:

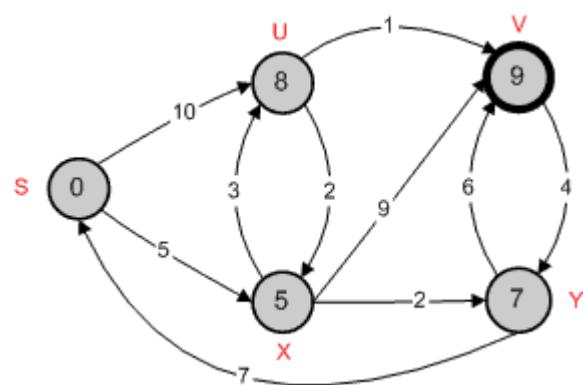


Figura 2 –Grafo Ponderado [8]

vértice	Perm	Dist	Path
s	sim	0	-
u	sim	8	x
x	sim	5	s
v	sim	9	u
y	sim	7	x

Figura 3 –Menor Distância a partir do vértice S [8]

III. DESENVOLVIMENTO

A) CENÁRIO

Para validar o sistema proposto, um mapa de simulação foi criado baseado em um ambiente real. Este ambiente trata-se do segundo andar do Prédio II do INATEL – Instituto Nacional de Telecomunicações.

O mapa foi criado em um arquivo de texto binário, sendo que os Zeros foram definidos como paredes e os Uns definidos como caminho livre, e foi considerada a distância de 1 metro entre cada vértice. A Figura 4 mostra o mapa do local escolhido e as salas numeradas, sendo a sala 0 o ponto de

partida.

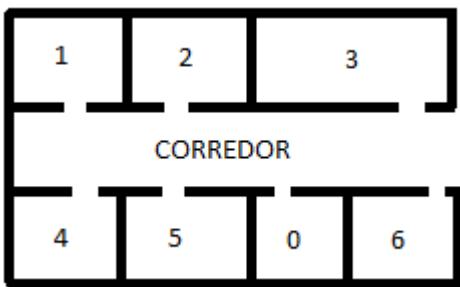


Figura 4 –Mapa Prédio II

```
0000000000000000
0111011110111110
0111011110111110
0010000100000100
0111111111111111
0010001001000100
0110111101101110
0110111101101110
0000000000000000
```

Figura 5 –Mapa Binário do Prédio II

B) SOFTWARE

Para implementação do sistema proposto por este trabalho, foi utilizado um conjunto de software para criar o sistema.

O software responsável pela criação do mapa, cálculo do menor caminho entre dois pontos e da conexão via Bluetooth foi desenvolvido na ferramenta de programação Visual Studio da Microsoft em linguagem C++. Essa linguagem foi escolhida, pois proporciona maior desempenho da plataforma, hardware e software. Além disso, ela é a linguagem mais utilizada para desenvolvimento de sistemas de robôs móveis, sendo considerada de execução mais rápida se comparada com linguagens gerenciadas por frameworks.

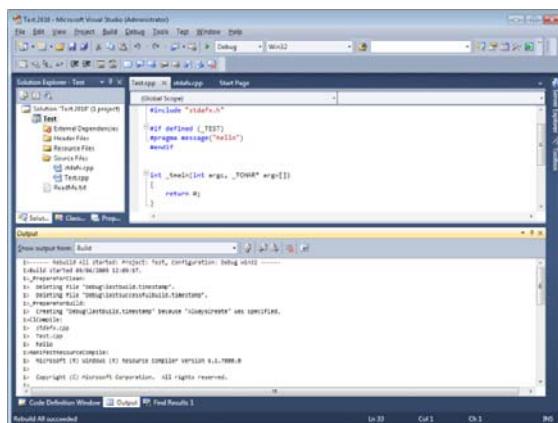


Figura 6 –Visual Studio 2010

Foi desenvolvida uma interface simples, onde cada vez que o usuário usasse o sistema, deveria preencher a porta de serial que iria usar para se conectar ao robô. Desse modo, o usuário está apto a começar a navegação via Bluetooth do robô, entrando com as seguintes informações: a) Origem e b) destino.

Após isso, utilizando o sensor ultrassônico HC-SR04, foi desenvolvido um algoritmo que era responsável por localizar possíveis colisões frontais, que funciona da seguinte maneira: 1) Detecta um objeto a 15 cm de distância, 2) o robô é parado e envia o próximo passo (que no caso é onde se encontra a obstrução) que deveria fazer para o computador via Bluetooth, 3) No computador, o número do passo que o robô deveria realizar é reajustado no mapa como sendo uma parede, 4) É recalculado a rota e 5) É reenviado o trajeto para o robô novamente.

C) HARDWARE

Foi estabelecido no inicio do projeto que seria utilizado o Arduino Mega 2560, que é uma placa fabricada na Itália utilizada como plataforma de prototipagem eletrônica que torna a robótica mais acessível a todos. As unidades são constituídas por controladora Atmel AVR de 8 bits, pinos digitais e analógicos de entrada e saída, entrada USB – o que permite conexão com computadores – ou serial e possui código aberto. A placa Arduino não possui recursos de rede, mas pode ser combinada com outros Arduinos criando extensões chamadas de Shields [9].

A fonte de alimentação recebe energia externa por uma tensão de, no mínimo, 7 volts e máximo de 35 volts com corrente mínima de 300mA. A placa e demais circuitos funcionam com tensões entre 5 e 3,3 volts [9].

Além do Arduino foram necessários:

- Sensores Ultrassônicos HC-SR04, para prever possíveis colisões.
- Shield Bluetooth para comunicação remota.
- Shield Ponte-H para inversão de polaridade em motores DC.
- Dois motores DC.

D) TESTES

Devido às deformidades do chão, nem sempre é possível realizar um movimento em linha reta, por isso foi usado outro sensor HC-SR04 virado para parede com o propósito de verificar e ajustar a distância entre o robô e a parede de modo que ele ande da forma mais reta possível.

IV. CONCLUSÃO

Este projeto teve como objetivo o controle de um robô de forma remota, que se deu através da utilização do Bluetooth.

A partir daí, foi desenvolvido um software capaz de criar grafos que lia um arquivo de texto preenchido por um mapa binário que representava um local pré-definido. Sendo que utilizamos como padrão, zero como paredes e um como

caminho possível. Desse modo conseguimos saber exatamente onde o robô poderia passar e qual seria o custo desse caminho.

Como trabalhos futuros, têm-se como sugestão a melhora do hardware, que se implementássemos um eixo, ajudaria na locomoção do robô de forma que aumentaria a precisão. Além da utilização de um Shield Wifi, o que aumentaria ainda mais a independência do robô em relação ao usuário devido a maior distância suportada.

REFERÊNCIAS

- [1] Beket, G. A. 2005. Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control. Cambridge, USA : The MIT Press, 2005.
- [2] Grassi Jr, V. 2006. Arquitetura Híbrida para Robôs Móveis Baseada em Funções de Navegação com Iteração Humana. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. São Paulo : s.n., 2006.
- [3] Ribeiro, C., Costa, A., Romero, R. 2001. Robôs móveis inteligentes: Princípios e técnicas. Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – SBC. 2001.
- [4] Davoren, J., Nerode, A. 1995. Logics for hybrid systems. (1995). IEEE in Hybrid Systems: Theory & Applications. 1995.
- [5] Arkin, R. C., 1998. Behavior-based robotics . s.l. : MIT Press, 1998.
- [6] Murphy, R. 2000. Introduction to AI Robotics. Cambridge, Massachusetts : MIT Press, 2000.
- [7] BLAASVAER, H., PIRJANIAN, P., CHRISTENSEN, H. I. “An autonomous mobile robot navigation system”. In: in Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 2266–2271, 1994.
- [8] <http://www.inf.ufsc.br/grafos/temas/custo-minimo/dijkstra.html> (Acessado em 10/02/2015).
- [9] <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/10/o-que-e-um-arduino-e-o-que-pode-ser-feito-com-ele.html> (Acessado em 25/05/2014).

Correlação entre medidas da radiação X na ionosfera e ressonâncias de Schumann observadas em São Jose dos Campos-Brasil

João Paulo Corrêa

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
engcorrea@outlook.com

Inácio Malmonge Martin

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
martin@ita.br

Franklin Andrade da Silva

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
franklin_andradeng@outlook.com

Mauro A. Alves

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
mauro.a.alvs@gmail.com

Resumo—As ressonâncias de Schumann são ondas eletromagnéticas, estacionárias que apresentam picos de 7,8; 15,6; 20 e 33 Hz, que foram medidas em 2014 no campus do ITA em São José dos Campos, SP, Brasil. Essas ressonâncias variam em função do tempo, intensidade e em frequência. No entanto em períodos com intensidade de raios X entre (0,5 a 8,0 Angström), intensos e variáveis, observado pelo satélite GOES acima da ionosfera, essas ressonâncias ficam estáveis em intensidade e em frequência, conforme mostram as medidas realizadas no mesmo período. Por meio dessas medidas pode-se afirmar que a maior ou menor ionização da ionosfera através da presença de raios X nesse intervalo de energia, tem um fator preponderante na existência e identificação dos picos de ressonâncias de Schumann, experimentalmente observadas na superfície da Terra. Este fato experimentalmente observado neste trabalho demonstra que a maior ou menor ionização da camada da ionosfera, pelo Sol, constitui parâmetro fundamental para manutenção das ressonâncias de Schumann na superfície da Terra.

Palavras-chave—Ionosfera, Ressonância, Radiação, Schumann.

I. INTRODUÇÃO

A radiação não ionizante ambiental, ou seja, aquela que não possui energia suficiente para ionizar os átomos e moléculas com as quais interage, pode ser observada em intensidade de potência (dBm), em V/m em termos de campo elétrico e em intensidade de campo magnético (T). Estes valores medidos dependem do intervalo de frequência de interesse. Os analisadores de espectros existentes em geral são destinados às medidas em laboratórios e cobrem em geral o espectro de 10 kHz a 26 GHz, utilizando vários conjuntos de antenas que dependem da faixa de frequência a ser

determinada. Na faixa de muito baixa e extremamente baixa frequência (VLF e ELF) estes receptores são mais elaborados

e exigem um sistema de antenas grande e fixo. Para receptores na faixa de 1Hz a 1000Hz o melhor e mais moderno conjunto experimental existente foi recentemente oferecido pela empresa alemã Aaronia-AG [1], com características excelentes para o levantamento dessa radiação em um local em termos de campo elétrico, magnético e potência. As medidas da radiação VLF de 3 kHz a 30 kHz em geral são muito empregadas para determinação de grandes descargas elétricas que ocorrem em qualquer local da baixa atmosfera do globo terrestre [2]. Transmissores e receptores (VLF) instalados em diversas regiões da superfície da Terra são os responsáveis por medir a intensidade e a fase dessa radiação que se propaga entre a superfície e a ionosfera terrestre (cavidade ressonante). Entre 1 e 50 Hz, faixa de ELF, as ondas de Schumann são as mais importantes e conhecidas do ponto de vista teórico. No entanto levando em conta os baixos valores em intensidade de seu campo elétrico (nanoVolt) e magnético (picoTesla), essa onda natural torna-se muito difícil de ser observada tanto do solo como do espaço [3,4]. Alguns esforços técnicos melhoraram atualmente essas medidas.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar as medidas da radiação não ionizante entre 1 Hz a 1000Hz, a partir da superfície da Terra e na região de São José dos Campos, SP, foi empregado um equipamento sensor SPECTRAN-5035 adquirido da empresa alemã Aaronia-AG, cujas características técnicas podem ser consultadas na referência [1]. A principal característica desse instrumento é a sensibilidade de medida de tensão elétrica de 10 nano Volt nesse intervalo de frequência. O tempo mínimo

de amostragem possível do sinal é de 5 milissegundos e a mínima resolução de largura de banda (RBW) é de 0.3Hz. O instrumento é totalmente portátil, com bateria de alimentação de até 8 horas contínuas de operação. Ele pode ser acoplado a um PC tipo laptop, onde um software específico da empresa permite a aquisição de dados em arquivos (.ldt) e a visualização de gráficos de monitoramento durante o período de medidas. Como o sistema de medidas é compacto e portátil é possível realizar o levantamento do campo de radiação não ionizante na faixa de frequência acima estipulada em qualquer local mesmo remoto. Na Figura 1 abaixo mostra-se o equipamento e o perfil da intensidade de campo elétrico (V/m) em função da frequência entre 1 a 1000Hz, obtido no campus do ITA em São José dos Campos, SP, Brasil, em 29 de outubro de 2014.



Fig. 1. Vista do equipamento (SpectranNF + laptop) elaborando um levantamento da radiação não ionizante entre 1Hz e 1000Hz.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medidas foram efetuadas no mês de outubro de 2014 no campus do ITA em São José dos Campos, SP, com clima muito seco e sem nuvens. Com o objetivo de calibrar o instrumento em frequência, mostra-se (Figura 2) o espectro em frequência medido nessa região entre 1Hz e 200Hz, onde em unidades de campo elétrico (V/m), destaca-se o aumento desse campo nas frequências de 60Hz, 120Hz e 180Hz, devido as linhas transmissoras de energia elétrica local.

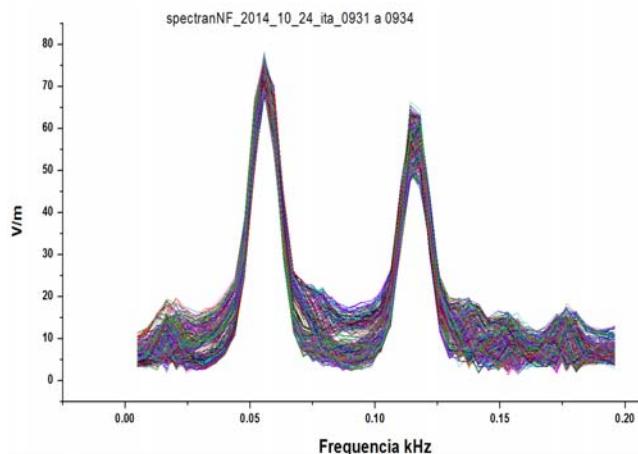


Fig. 2 – Espectro da radiação não ionizante entre 1 a 200Hz no campus do ITA, veja os picos de 60 e 120 Hz das linhas de transmissão elétrica local.

O campo elétrico observado nesse próprio local entre 1 Hz e 1000Hz com tempo de amostragem de 100 ms e com resolução de largura de banda 1Hz destacam-se a presença dos valores picos devido as linhas de transmissão de energia elétrica entre (50 e 200Hz), as ressonâncias de Schumann entre (1 e 50 Hz) e o ruído de fundo atmosférico de campo elétrico local entre (200 a 1000 Hz) com valor médio de 40 V/m. A Figura 3 mostra esses valores medidos para o período seco deste ano no dia 27 de outubro de 2014.

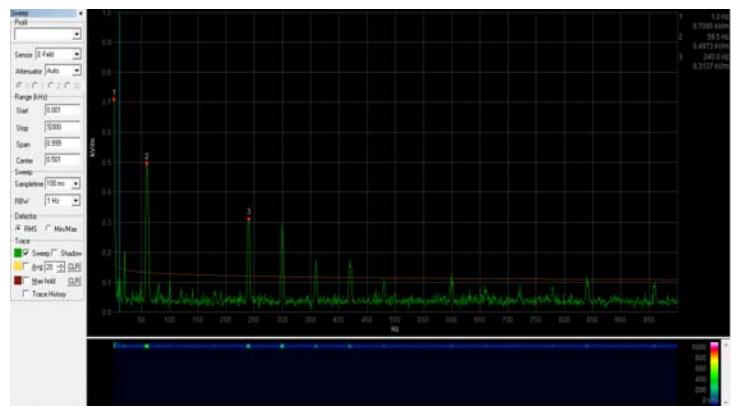


Fig. 3 – Medidas do campo elétrico em kV/m em função da frequência entre 1 a 1000Hz com amostragem em tempo de 100 ms e RBW de 0.3Hz.

Já na Figura 4 abaixo, mostra-se o espectro em frequência, da onda de Schumann entre (1 Hz a 36Hz), medido no dia 27/10/2014, exatamente no mesmo horário em que houve um apreciável aumento da radiação X na ionosfera na banda de comprimento de onda acima citada, observado pelo satélite GOES (Figura 5).

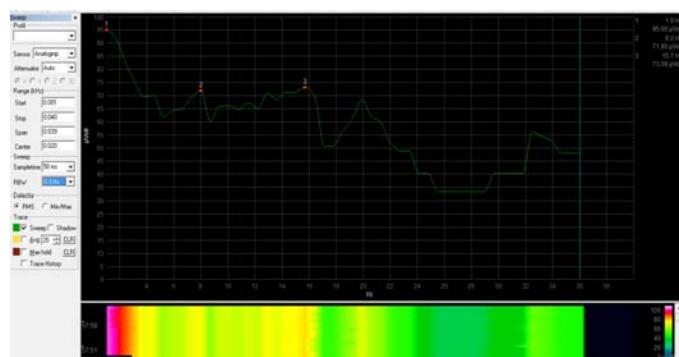


Figura 4 – Medida do espectro em frequência com as ressonâncias de Schumann em 7,8; 15,6; 20 e 33 Hz entre 11:00 e 13:00 LT de 27/10/2014.

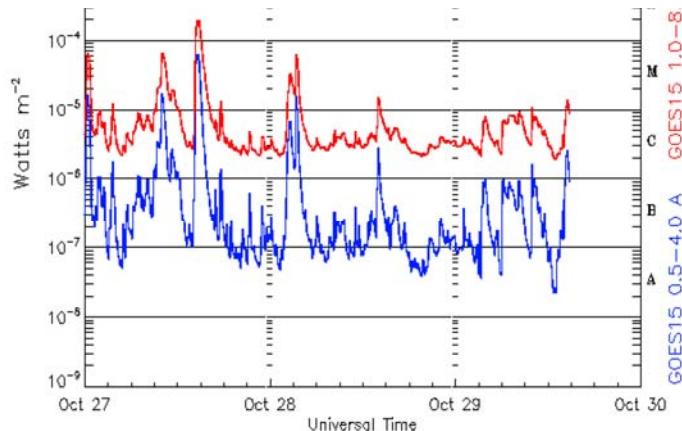


Fig. 5 – Medidas de raios X de 0.5 a 8.0 A, na ionosfera, com apreciável aumento da intensidade entre 11:00 a 13:00 LT no dia 27 outubro 2014.

Na Figura 6 analisa-se as medidas das ressonâncias de Schumann, para o dia 28 outubro de 2014 entre 09h30min as 09h40min tempo local.

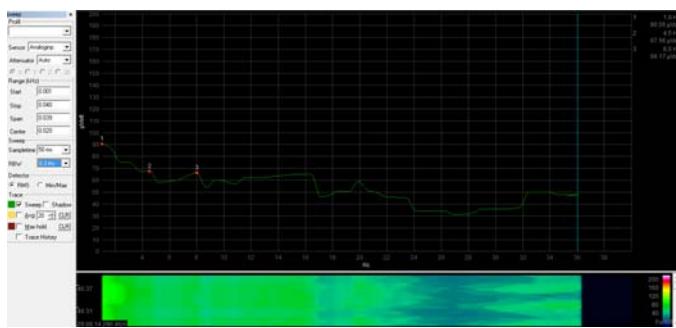


Fig. 6 – Medidas das ressonâncias de Schumann para o dia 28 de outubro de 2014 entre 09h30min e 09h40min tempo local, correspondem valores menores de raios X, sendo a intensidade dos picos Schumann mais baixos.

IV. CONCLUSÕES

Foi verificado neste trabalho, ainda preliminar, que quando o Sol através de raios X mole (0,5 a 8 A) exerce maior ionização na ionosfera, acarreta os picos de ressonância de Schumann mais estáveis e nítidos. Esse fato está relacionado com a densidade e altura da ionosfera com maior ou menor ionização produzida pelo Sol. Um número maior de medidas de ambos parâmetros deverá ser observado com o objetivo de explicitar melhor estatística.

REFERÊNCIAS

- [1] Aaronia AG. Disponível em: <http://www.aaronia.com/fairs/electronica-2014/>. Acessado em :27/10/2014.
- [2] J. B. Brandell - UltraMSK: *A subionospheric VLF radio receiver for remote sensing of space weather events*; V SBGEA, 29 september to 3 October 2014, UFRN, Natal, Brasil.
- [3] V.V. Surkov, et all.,- *Penetration of Schumann resonances into the upper ionosphere; Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 97, 2013, pp. 65-74.
- [4] F. Simões et al.,- *Satellite observations of Schumann resonance in Earth's ionosphere; Geophysical Research Letters*, vol.18, doi 10.1029/2011GL049668, 2011, USA.

Sistema de Transmissão de Dados de Instrumentação de Pontes Através da Rede GSM/GPRS

Bruna Benildo dos Reis Vaz

PUC Minas *campus* Poços de Caldas
brunabenildo@gmail.com

Guilherme Rezende Fernandes de Carvalho

PUC Minas *campus* Poços de Caldas
guilhermerezendetc@hotmail.com

Celso Iwata Frison

PUC Minas *campus* Poços de Caldas
celso@pucpcaldas.br

Resumo — Quando um veículo atravessa uma ponte, é possível através de um acelerômetro acoplado à sua estrutura, medir sua aceleração, velocidade, além das vibrações causadas pelo veículo à ponte, e indiretamente o seu peso. Quando se consegue captar esses valores com extrema precisão, é possível também verificar instantaneamente se a ponte está apresentando alguma patologia e imediatamente corrigi-la ou tomar as decisões antes que sua degradação possa gerar a interdição ou maior comprometimento da mesma. Desta forma, o presente projeto consiste na implementação de um sistema de medição remota das vibrações de uma ponte qualquer, ou mesmo de um conjunto delas. Para isso, foi desenvolvido um sistema microcontrolado que recebe os dados do acelerômetro, realiza o processamento e os encaminha para um servidor, por meio da rede GSM/GPRS. Neste servidor, pode ser realizado um processamento a fim de se analisar o fluxo de veículos que atravessa a ponte, e com isso, a fiscalização, tanto destes veículos, quanto da própria ponte, pode ser realizada por especialistas de forma remota e centralizada.

Palavras chave — Acelerômetro, GPRS, Pontes, Vibração.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país totalmente dependente do transporte de mercadorias por meio terrestre. Desta forma, possui uma malha rodoviária extremamente longa e devido às condições de relevo e também devido à quantidade de rios que cortam o país, a utilização de pontes para a interligação dessas vias é inevitável.

Segundo dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), as estradas federais brasileiras têm aproximadamente cinco mil pontes e cerca de 46% destas pontes apresentam algum tipo de problema, que variam entre a falta de investimentos de órgãos responsáveis à falta de fiscalização, o que leva à degradação e comprometimento de suas estruturas [13].

Retomando ao ponto na qual o transporte de mercadorias no país é basicamente rodoviário, o controle e fiscalização dos veículos que transportam tais mercadorias têm de ser intenso, a fim de não gerar danos às rodovias e às pontes, e.g. por excesso de peso. Entretanto, o uso de balanças rodoviárias

acaba gerando um atraso nas entregas das mercadorias, pois geralmente há formação de longas filas de espera para a pesagem, que é feita em baixíssima velocidade. Além disso, certas balanças rodoviárias não funcionam ao longo das 24 horas do dia, o que faz com que certos motoristas prefiram trafegar com excesso de peso nos períodos em que as balanças estão fora de funcionamento.

Com isto, o presente projeto baseia-se no projeto de pesquisa FIP (Fundo de Incentivo à Pesquisa) em execução pelo professor Dr. José Gabriel Maluf Soler do curso de Engenharia Civil da PUC Minas *campus* Poços de Caldas [1] [13], no qual é proposta a substituição das balanças rodoviárias por um sistema totalmente automatizado e eficiente para a pesagem dos veículos. Quando um veículo atravessa uma ponte, é possível através de um acelerômetro acoplado à sua estrutura, medir a sua aceleração e velocidade, baseada nas vibrações causadas pelo veículo à ponte, e indiretamente o seu peso pode ser estimado. Quando se consegue captar esses valores com extrema precisão, é possível também verificar instantaneamente se a ponte está apresentando alguma patologia e imediatamente corrigi-la ou tomar decisões antes que sua degradação possa gerar a interdição ou maior comprometimento da mesma.

Desta forma, o intuito deste projeto é implementar a transmissão dos dados gerados pelo acelerômetro, que acoplado a uma estrutura, capta as vibrações da mesma e as encaminha para um microcontrolador. Este microcontrolador tem o papel de processar esses dados e enviá-los, por meio da rede GSM/GPRS (*Global Mobile System/General Packet Radio Service*), para um servidor. Neste servidor, os dados de vibração da ponte são dispostos de forma gráfica, a fim de facilitar análise das mesmas por parte de especialistas.

Sendo assim, este trabalho é apresentado em mais cinco seções. Na seção II são apresentados os conceitos básicos, que expõem principalmente as tecnologias utilizadas na execução do projeto. Na seção III é apresentada a metodologia utilizada. Na seção IV são apresentados os resultados obtidos e por fim, nas seções V e VI, são apresentados, respectivamente, as conclusões e os agradecimentos dos autores.

II. CONCEITOS BÁSICOS

Neste capítulo alguns conceitos básicos para a melhor compreensão da parte técnica do projeto são apresentados. A definição e caracterização dos principais meios de comunicação existentes, a arquitetura da rede de comunicação móvel GSM/GPRS, os microcontroladores e o transdutor utilizado no projeto (acelerômetro) são os principais pontos a serem abordados.

A. Meios de Comunicação

Dentre as diversas técnicas de transmissão existentes, as mesmas podem ser classificadas em duas classes, as pertencentes aos meios de comunicação guiados e as pertencentes aos meios de comunicação não guiados. Os meios de comunicação guiados, como o próprio nome se refere, são aqueles na qual os sinais estão confinados dentro de algum meio material que os conduz de uma extremidade a outra, possibilitando a comunicação. Exemplos de meios guiados são cabos coaxiais, fibras ópticas, pares trançados, entre outros [2].

Já os meios de comunicação não guiados, também conhecidos pelo seu termo na língua inglesa *wireless*, são aqueles na qual uma onda eletromagnética é transmitida na própria atmosfera (ar) sem a necessidade de um meio confinado para conduzi-la [3].

Dessas duas classes de meio de comunicação, os meios não guiados seriam mais viáveis para o presente projeto, visto a falta de infraestrutura nos pontos de coleta de dados. Como o projeto visa transmitir os dados de vibração coletados de pontes, e por essas estarem geralmente ao longo de rodovias, a distância envolvida até o ponto de controle central já é um fator limitante, pois a implantação de um meio de transmissão guiado que conecte todos os pontos torna-se infactível, principalmente do ponto de vista financeiro do projeto. Essa implantação do meio de transmissão guiado seria inviável, pois a grande maioria das rodovias não possui um meio de transmissão que esteja próximo às pontes. Além disso, as fibras ópticas que estão ao longo das rodovias são de propriedade de empresas, geralmente de telecomunicações, na qual o aluguel de parte da banda tornaria o custo operacional do projeto muito alto.

Sendo assim, os meios de comunicação não guiados são os mais indicados para a execução do projeto proposto. Existem diversas tecnologias que fazem uso da comunicação sem fio, na qual se podem destacar as redes *Ad-Hoc* sem fio, sistema de micro-ondas, comunicação via satélite e a comunicação empregando a rede de telefonia móvel (celular).

Das tecnologias citadas acima, as redes *Ad-Hoc* sem fio seriam viáveis caso a localização das pontes fosse regular, pois como a tecnologia em questão trabalha com a transmissão dos dados por múltiplos saltos, existe a necessidade de alguns terminais desta rede estarem conectados entre si para que a informação possa ser transmitida ao longo da rede até atingir a central de análise das informações [4]. A Fig. 1 ilustra o conceito dos múltiplos saltos utilizado nas redes *Ad-Hoc* sem fio.

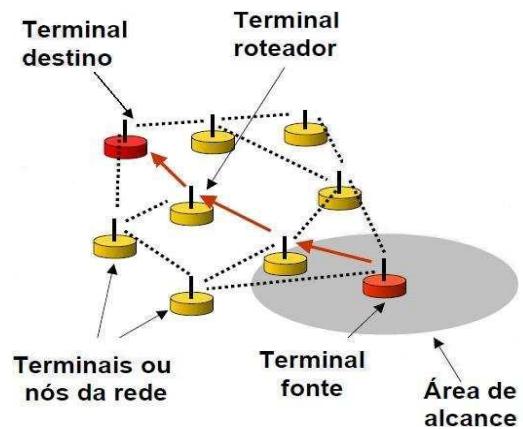


Fig. 1. Redes *Ad-Hoc* Sem Fio (*Multihop*) [5].

Como as pontes são construídas em localidades na qual a geografia local não atende às necessidades de locomoção dos seres humanos, a localização dessas construções não tem um padrão pré-definido. Além da aleatoriedade das construções, as distâncias entre tais pontos também são fatores inibidores para a aplicação de tal tecnologia, pois o número de elementos apenas com função de roteamento na rede seria demasiadamente elevado. Mais ainda, cada um dos elementos de roteamento na rede, além dos pontos de coleta de dados, torna-se um ponto futuro de manutenção. Com isso, conclui-se que para aplicação do projeto em larga escala essa tecnologia seria inviável. Seu uso estaria restrito apenas a localidades com elevado número de pontes na qual a proximidade entre as mesmas possibilitessem o uso da tecnologia com um pequeno número de elementos de roteamento.

Outra tecnologia que poderia ser empregada seria a comunicação por sistemas de micro-ondas ponto-a-ponto utilizando antenas diretivas. Essa tecnologia que emprega o uso de ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas [300MHz – 300GHz] apresenta uma largura de banda suficientemente grande para a transmissão dos sinais [3]. Além disso, essa tecnologia pode transmitir os sinais a longas distâncias, utilizando-se antenas diretivas com elevado ganho e ainda estações repetidoras. Porém, para tal implantação, há necessidade de uma pequena infraestrutura composta por torre, antena, rádio e ainda recursos energéticos para alimentação dos equipamentos de transmissão. O custo inicial para implantação desse sistema é consideravelmente elevado comparando-se com outras tecnologias existentes.

O sistema via satélite é uma das alternativas mais tentadoras, principalmente pela área de cobertura proposta por tal sistema. Essa tecnologia consiste em estações terrestres, neste caso os pontos de coleta dos dados, que se comunicam com os *transponders* (satélites) que se encontram em órbita terrestre. Os sinais são enviados para os *transponders* e destes são retransmitidos para a central [2]. Apesar da total cobertura proposta por tal tecnologia, o custo associado, tanto na manutenção do sistema como na aquisição dos equipamentos, torna-se muito elevado e dessa forma proibitivo para o elevado

número de pontos de coletas de dados em todo o território nacional.

Por fim, a tecnologia mais viável para se transmitir os dados coletados nas pontes seria através da rede de telefonia móvel. Essa tecnologia apresenta níveis elevados de confiabilidade, pois as próprias operadoras de telefonia têm de atender ao PGMQ (Plano Geral de Metas e Qualidade) que são verificados periodicamente pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Além da confiabilidade do sistema de transmissão proposto, o custo para a implantação do projeto consiste apenas no protótipo, proposto pelo presente projeto, e na aquisição de um *SIM Card* por ponto de coleta de dados. Obviamente, associado ao *SIM Card*, haverá um custo mensal para a transmissão dos dados pela rede GSM/GPRS que certamente será muito menor se comparado a qualquer outro sistema de transmissão descrito anteriormente.

Uma única desvantagem dessa tecnologia se refere à área de cobertura das redes móveis. Atualmente, as estradas da região sudeste possuem, na sua maioria, cobertura de sinais das operadoras de telefonia móvel. Porém, nas outras regiões do país essa não é uma realidade. Entretanto, com a entrada do novo sistema de comunicação móvel na faixa de 700MHz, denominada de LTE (*Long Term Evolution*), haverá a expansão da cobertura da rede móvel, possibilitando assim o chamado acesso rural [6]. Esse acesso rural tem como propósito disponibilizar o sinal para as regiões mais remotas do país, o que possibilita o aumento da cobertura em diversas rodovias e estradas em todas as regiões do país.

Sendo assim, como o presente projeto tem o propósito de estabelecer a transmissão dos dados coletados para um sistema central através da rede de telefonia móvel GSM/GPRS, uma breve descrição sobre a tecnologia é realizada.

B. Sistema GSM/GPRS

A arquitetura do sistema de telefonia móvel de segunda geração e meia, com acesso a dados, é ilustrada na Fig. 2.

A arquitetura deste tipo de rede é altamente complexa, sendo que as informações transmitidas pelos usuários (dados ou voz) têm caminhos distintos dentro da rede. O presente projeto visa a transmissão dos sinais coletados dos acelerômetros pela rede GPRS para ser transmitido a um computador qualquer que esteja também conectado à rede GPRS.

Sendo assim, um *SIM Card* conectado a um protótipo microcontrolado irá capturar os dados do acelerômetro e transmitir através da rede móvel. Sendo assim, este protótipo fará o papel da estação móvel (MS – *Mobile Station*) e fará a comunicação direta com a estação rádio base (BTS – *Base Transceiver Station*) por meio da interface aérea *Um*.

Estas informações serão transmitidas da BTS à estação de controle de ERBs (BSC – *Base Station Controller*), que por sua vez passam pela unidade controladora de pacotes (PCU – *Packet Control Unit*) para encaminhamento do dados pela rede de comutação por pacotes. Esses dados então são destinados ao servidor do nó de suporte GPRS (SGSN – *Serving GPRS Support Node*) e ao gateway do nó de suporte GPRS (GSGN –

Gateway GPRS Support Node), respectivamente, para o encaminhamento das informações a outro terminal da rede, no caso a central de processamento dos dados [8]. O encaminhamento de tais informações ao outro dispositivo passa pelos mesmos dispositivos, porém na ordem inversa e dependente da área de serviço na qual o usuário final esteja alocado.

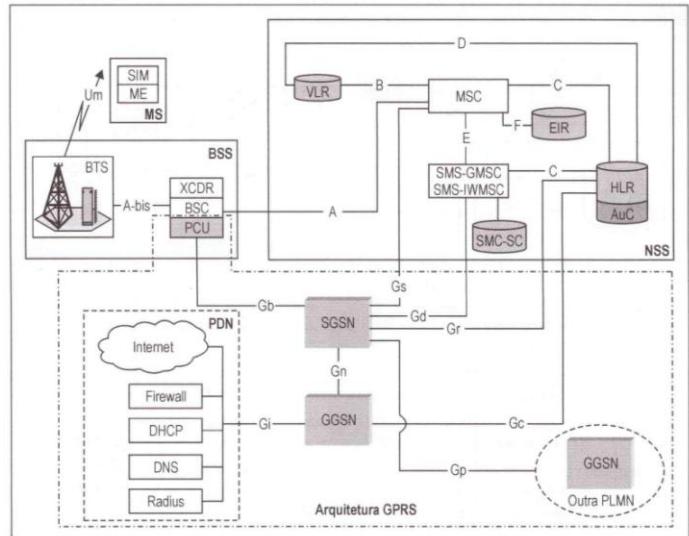


Fig. 2. Arquitetura da rede GSM/GPRS [8].

C. Microcontroladores

Em meados dos anos 50, começaram a ser desenvolvidos os primeiros sistemas automatizados no mundo, utilizando robôs, que tinham como função principal substituir a mão de obra humana nas indústrias, gerando uma diminuição nos custos e uma maior velocidade na produção. Com o passar dos anos, as tecnologias avançaram bruscamente, ampliando consideravelmente a sua utilidade tanto na indústria, como no comércio e nas residências. Atualmente, se tornou comum o uso de microcontroladores, CLP's (Controlador Lógico Programável), controles de temperatura, pressão, sensores, dentre outros.

Para o professor Gustavo Weber Denardin [8], em um passado recente, o alto custo dos dispositivos eletrônicos limitou o uso dos microcontroladores apenas aos produtos domésticos considerados de alta tecnologia (televisão, áudio e vídeo). Porém, com a constante queda nos preços dos circuitos integrados, os microcontroladores passaram a ser utilizados em produtos menos sofisticados do ponto de vista da tecnologia, tais como máquinas de lavar, micro-ondas, fogões e refrigeradores.

Ainda de acordo com [8], uma residência típica americana possuía 35 produtos baseados em microcontroladores. Já em 2010, em média uma pessoa já interagia com 250 dispositivos com microcontroladores diariamente. A tendência é o desenvolvimento, cada vez maior, de aparelhos microcontrolados.

Segundo [9] o microcontrolador é como um computador em um único chip, visto que o mesmo possui memória e

dispositivos de entrada e saída (I/O – *Input/Output*).

Já de acordo com [10], o microcontrolador é um componente eletrônico de pequeno porte, o qual possui uma inteligência programável. A inteligência pode ser associada à Unidade Lógica Aritmética (ULA), que é responsável pela execução de todas as operações matemáticas e lógicas.

A lógica é toda estruturada na forma de um programa na linguagem C e gravada dentro do componente, onde toda vez que o microcontrolador for alimentado o programa será executado.

O microcontrolador contém internamente memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, *timers*, contadores, comunicação serial, PWMs (*Pulse Width Modulation*), conversores analógico-digitais, dentre outros. Para poder utilizar o microcontrolador é necessário além do programa que controla determinado processo, desenvolver um hardware responsável pela interface entre os periféricos e o microcontrolador.

D. Acelerômetro

O acelerômetro é um dispositivo eletrônico, cuja função é medir através de sensores a aceleração de um corpo qualquer em relação à gravidade. Há vários tipos de acelerômetros disponíveis no mercado, nos quais os mais comuns são os capacitivos, os piezoelétricos e os piezoresistivos, sendo o acelerômetro capacitivo o mais empregado nos dispositivos atuais. A Fig. 3 mostra uma imagem de um acelerômetro capacitivo de três eixos, que possui uma dimensão de 27,9 mm x 18,6mm e sensibilidade de 800mV/g .

De acordo com [11], o acelerômetro é um modelo triaxial, ou seja, possibilita uma leitura simultânea de aceleração em três eixos ortogonais e proporciona sinal analógico de saída em modo contínuo e variável no tempo. O modelo capacitivo possui três placas, sendo dois capacitores e uma placa central móvel. Há também acelerômetros que apresentam a leitura em apenas um eixo.

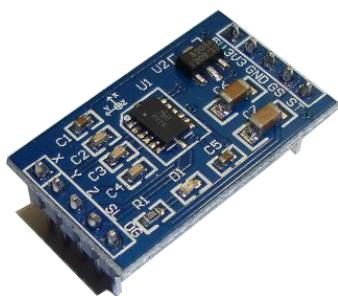


Fig. 3 - Acelerômetro capacitivo, modelo MMA7361 [12]

A Fig. 4 mostra o princípio de funcionamento do sensor de aceleração baseado na variação da capacitância a partir do movimento relativo entre placas. Na Fig. 4 (a) tem-se a aceleração sem movimento dos eixos, ou seja, sem alteração das capacitâncias. Já na Fig. 4 (b), a placa móvel dos capacitores se desloca em relação às demais, alterando assim o valor da capacitância dos capacitores 1 e 2.

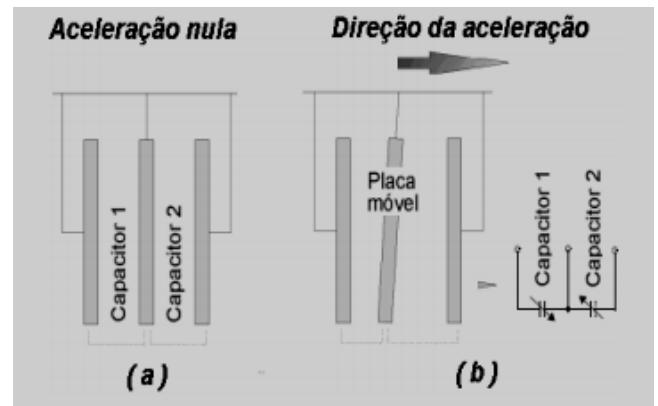


Fig. 4 - Princípio de funcionamento do sensor de aceleração [11]

Quando o corpo em análise sofre uma aceleração, a distância entre as placas se altera e o valor da capacitância dos dois capacitores sofre uma alteração. Um processador interno é responsável por monitorar a variação da capacitância em função da rapidez de movimentação relativa à placa móvel, e obter a aceleração final.

A sensibilidade de um acelerômetro pode ser definida de acordo com a Equação 1.

$$S = \frac{V_2 - V_1}{a_2 - a_1} \quad (1)$$

onde, S é a sensibilidade, V₁ e V₂ são as tensões de saída dos capacitores 1 e 2, e a₁ e a₂, as respectivas acelerações.

Na sensibilidade pode-se observar a taxa de variação do sinal de saída devido à aceleração sofrida. Quanto mais sensível o dispositivo, variações menores do sinal elétrico podem ser percebidas, tornando o equipamento mais preciso.

III. DESENVOLVIMENTO

O projeto em questão foi desenvolvido utilizando recursos computacionais para a realização de simulações, seguida de implementação prática para testes de bancada. A estrutura, bem como os testes, foram implementados utilizando módulo de transmissão GSM/GPRS controlado por microcontrolador ATmega.

O principal objetivo foi desenvolver um protótipo capaz de fazer a captação dos dados gerados pelo acelerômetro, converter os mesmos para a forma digital através do microcontrolador ATmega e, por fim, transmiti-los através da rede GSM/GPRS para um servidor capaz de fazer o armazenamento e processamento dos dados e apresentar os resultados de forma gráfica.

Inicialmente foi realizado um estudo do modelo de captação de vibrações das pontes e verificação do formato da saída dos dados, seguido do estudo da linguagem de programação do Microcontrolador Arduíno. Apesar de ter bibliotecas específicas e prontas que são fornecidas junto com os shields (extensões do microcontrolador) do módulo Arduíno, houve uma grande dificuldade no estabelecimento da conexão com a

rede GSM/GPRS por este módulo. Os comandos necessários para esta comunicação do módulo com a operadora são muito resumidos e as bibliotecas disponíveis não realizam o processo de forma clara para que possa ser utilizada. Para não ser necessário realizar uma engenharia reversa a fim de entender as bibliotecas de comando do módulo GSM/GPRS, optou-se por utilizar um kit GSM/GPRS disponível no curso de Engenharia Elétrica da PUC Minas *campus Poços de Caldas*, que contém todos os componentes integrados necessários para o desenvolvimento do projeto.

Desta forma, estudou-se a linguagem de programação de microcontroladores ATmega, para recepção dos dados do acelerômetro e a transmissão destes dados através da rede GSM/GPRS. Em seguida foi iniciada a utilização de um servidor para recepção dos sinais provenientes da rede GSM/GPRS, o qual foi fornecido pelo fabricante do módulo utilizado. Por fim, foram realizados os testes parciais e finais que culminaram na geração de gráficos de vibração de estruturas. Para melhor compreensão dos dispositivos que foram utilizados, são apresentados abaixo os principais componentes do kit de desenvolvimento utilizado.

A. Acelerômetro Capacitivo (MMA7456L)

Para ser possível uma análise de vibração, foi utilizado o acelerômetro capacitivo modelo MMA7456L, sendo este do fabricante *Freescale*, visto sua sensibilidade máxima. A Fig. 5 ilustra o acelerômetro embarcado no kit GSM/GPRS usado para o desenvolvimento do projeto.

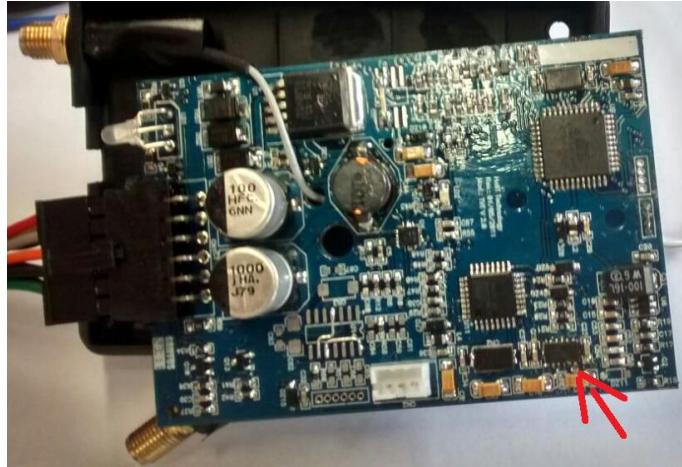


Fig. 5. Acelerômetro Capacitivo MMA7456L, localizado no KIT GSM/GPRS.

B. Microcontrolador Atmel ATMEGA

O tratamento dos dados do acelerômetro foi realizado através de um microcontrolador ATmega 644, do fabricante Atmel. O ATmega 644 é um microcontrolador de 8 bits, com taxa máxima *clock* de 20 MHz, possui memória flash de 64kB e memória RAM de 4 KB, além de 32 saídas e 3 timers. A linguagem de programação destes microcontroladores é C. Na Fig. 6, pode-se visualizar o microcontrolador ATmega 644 embarcado no kit GSM/GPRS utilizado no projeto.



Fig. 6. ATmega 644 no Kit GSM/GPRS utilizado no projeto.

C. Módulo GSM/GPRS

Para realizar a transmissão dos dados via rede de dados, foi utilizado o módulo GSM/GPRS contido no kit, sendo o mesmo do modelo LEON-G100-08S-00, fabricante U-Box. A Fig. 7 mostra módulo GSM/GPRS utilizado e sua localização no kit GSM/GPRS.



Fig. 7 - Módulo LEON-G100-8S-00 localizado do outro lado do kit GSM/GPRS.

Os comandos utilizados para ser feita a conexão do módulo GPRS com a rede são apresentados na Tabela 2, na sua ordem de execução.

Para que seja possível a conexão com a rede GSM/GPRS, e enviar os dados para o servidor de controle, é necessário executar uma sequência pré-determinada de comandos para que o registro seja validado.

Para isso, primeiramente é utilizado o comando "ATE0" para desativar o eco, ou seja, para que o módulo não verifique constantemente se foi enviada alguma informação. Posteriormente utiliza-se o comando "AT+UPSV=0" para desabilitar o modo de espera, e com isso, evitar que o módulo GMS/GPRS hiberne. Utiliza-se em seguida o comando "AT+IFC=2,2" para configurar o controle de fluxo, ou seja, o

comando só será enviado se o usuário permitir, ou se o módulo permitir.

TABELA II
COMANDOS DO MÓDULO GSM/GPRS UTILIZADOS, NA ORDEM DE EXECUÇÃO.

COMANDOS	Descrição
ATE0	Desabilita GSM ECO
AT+UPSV=0	Desabilita o modo de economia de bateria
AT+IFC=2,2	Configura o controle de fluxo
AT+UPSD=0,1	Configura o endereço de APN
AT+UPSD=0,2	Configura o usuário do APN
AT+UPSD=0,3	Configura senha do APN
AT+UPSDA=0,3	Ativa todos os parâmetros de APN
AT+USOCO=0	Conecta ao servidor especificado

Posteriormente, inicia-se a configuração dos dados do APN (Ponto de Acesso na Rede) para conexão com a rede de dados. Para se configurar o endereço de APN da operadora, a qual o módulo se conectará, utiliza-se o comando "AT+UPSD=0,1". Após configurar o endereço APN da operadora utiliza-se o comando "AT+UPSD=0,2", para configurar o usuário do APN da operadora, e em seguida configura-se a senha do APN da operadora através do comando "AT+UPSD=0,3". Com os dados do APN da operadora todos configurados utiliza-se o comando "AT+UPSDA=0,3", do qual tem o objetivo de capturar os dados de endereço e senha e ativar os parâmetros para finalmente validar o registro na operadora. Por fim, utiliza-se o comando "AT+USOCO=0", para conectar ao servidor especificado nos comandos anteriores.

D. Código Fonte

Inicialmente foram adicionadas as bibliotecas necessárias, referente aos equipamentos utilizados. Posteriormente foram definidas as variáveis e as portas seriais a serem utilizadas para a transmissão dos dados e para a comunicação com o módulo. Essas portas seriais utilizadas também foram configuradas para transmitir dados apenas quando for "avisada" que há dados a serem enviados.

Em seguida foi dado início a configuração do módulo GSM/GPRS para comunicação serial com o microcontrolador, a configuração do módulo para conexão à rede celular com suas devidas condições para que não haja nenhum erro, e posteriormente foi realizada toda a sequência de comandos descrita anteriormente para a conexão do módulo GSM/GPRS com a rede celular.

Também foram configurados dois *timers*. O primeiro timer tem a função de verificar se o serial tem algum dado para ser enviado. O segundo timer foi utilizado para que não haja overflow na transmissão GPRS, ou seja, para que o sistema não fique esperando uma resposta por um tempo infinito e, com isso, o mesmo trave. Caso isso ocorra o sinal é bloqueado.

Utilizou-se também um *watchdog*, para prevenir que em algum momento o programa entre em um loop infinito e

também leve ao travamento. Em seguida foi configurado o relógio interno do microcontrolador, e por fim, foi realizado o tratamento dos dados gerados pelo acelerômetro e definidas as condições para envio desses dados.

E. Servidor e Terminal Serial

O servidor utilizado para a recepção dos dados, transmitidos pelo módulo GSM/GPRS, foi o mesmo fornecido pelo fabricante do kit, HallIT Technology, que foi utilizado. Os dados recebidos por esse servidor são transmitidos através de uma serial para um terminal serial, esses dados também são salvos pelo servidor em um arquivo do formato de texto (.txt). A Fig. 8 mostra a interface gráfica para se conectar ao servidor e a Fig. 9 a interface gráfica do terminal serial, localizado no servidor.



Fig. 8 - Interface Gráfica para Conexão com Servidor.

Na interface gráfica do servidor é necessário adicionar o IP que deseja se conectar e em seguida no campo "ListenonPort", inserir a porta a qual o usuário estará recebendo os dados.

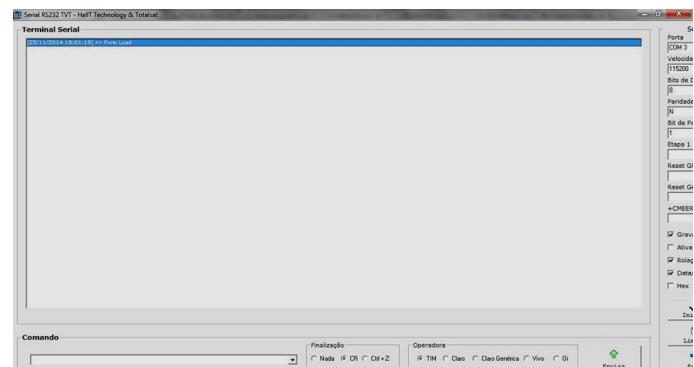


Fig. 9 - Interface Gráfica do Terminal Serial, localizado no Servidor.

IV. RESULTADOS

Realizaram-se dois testes com o acelerômetro, sendo um em modo estático e outro com o acelerômetro sob uma pequena vibração. Os resultados obtidos com o acelerômetro estático podem ser visualizados na Fig. 10, que ilustra os dados recebidos pelo terminal serial.

```
[26/11/2014 21:41:30] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:41:30] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:41:46] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:41:46] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:42:02] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:42:02] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:42:18] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:42:18] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:42:34] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:42:34] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:42:50] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:42:50] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:43:06] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:43:06] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:43:22] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:43:22] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:43:38] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:43:38] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:43:54] >> X: 16 Y: 22 Z: 14#>
[26/11/2014 21:43:54] >> +USOWR:0,17
```

Fig. 10 - Dados recebidos pelo terminal serial, com o acelerômetro estático.

Por meio da Fig. 10 pode-se observar que as medições ocorrem a cada 16 segundos, período relativamente longo para a análise de vibração, mas configurado dessa forma para facilitar a análise da transmissão dos dados. A cada amostra coletada, o terminal exibe os valores da amplitude de cada um dos três eixos do acelerômetro.

Já na Fig. 11, estes dados recebidos pelo servidor foram compilados em forma de gráfico, para possibilitar uma melhor análise das vibrações.

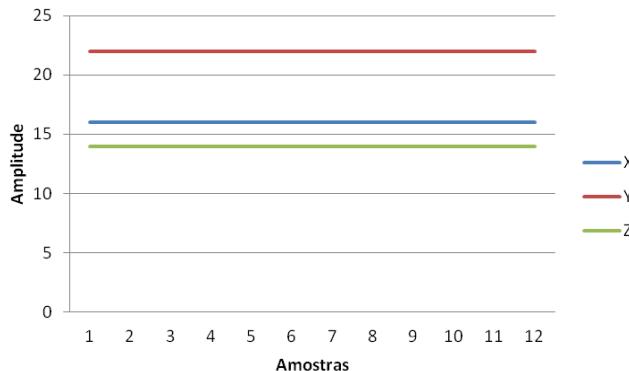


Fig. 11 - Gráfico gerado a partir dos dados recebidos pelo terminal serial, com o teste estático.

Na Fig. 11, nota-se que não houve variações nos eixos das coordenadas X, Y e Z do acelerômetro, ou seja, os valores dos eixos mantiveram-se constantes durante o período de teste. Com isso, conclui-se que de acordo com o proposto teste em modo estático, os dados transmitidos foram corretamente recebidos pelo servidor.

Um teste semelhante foi realizado, porém com o acelerômetro sob efeito de uma pequena vibração causada propositalmente e de forma artificial para análise dos valores capturados pelo sensor. Partes dos resultados obtidos pelo servidor podem ser observados na Fig. 12. Já a Fig. 13, ilustra

o comportamento dos dados recebidos pelo servidor de uma forma gráfica.

```
[26/11/2014 21:34:18] >> X: 20 Y: 19 Z: 13#>
[26/11/2014 21:34:18] >> +USOWR:0,17
[26/11/2014 21:34:34] >> X: 12 Y: 4 Z: 2#>
[26/11/2014 21:34:34] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:34:50] >> X: 14 Y: 3 Z: 3#>
[26/11/2014 21:34:50] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:35:06] >> X: 15 Y: 3 Z: 1#>
[26/11/2014 21:35:06] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:35:22] >> X: 5 Y: 7 Z: 1#>
[26/11/2014 21:35:22] >> +USOWR:0,14
[26/11/2014 21:35:38] >> X: 1 Y: 18 Z: 2#>
[26/11/2014 21:35:38] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:35:54] >> X: 0 Y: 20 Z: 2#>
[26/11/2014 21:35:54] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:36:10] >> X: 1 Y: 20 Z: 2#>
[26/11/2014 21:36:10] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:36:26] >> X: 0 Y: 20 Z: 2#>
[26/11/2014 21:36:26] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:36:42] >> X: 1 Y: 22 Z: 1#>
[26/11/2014 21:36:42] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:36:58] >> X: 1 Y: 22 Z: 2#>
[26/11/2014 21:36:58] >> +USOWR:0,15
[26/11/2014 21:37:14] >> X: 12 Y: 15 Z: 15#>
```

Fig. 12 - Dados recebidos pelo terminal serial, acelerômetro com pequenas vibrações.

A Fig. 13 mostra a grande variação nos eixos do acelerômetro quando é forçada uma pequena vibração no local onde o kit está localizado. Com isso, pode-se verificar a grande sensibilidade do acelerômetro utilizado neste presente projeto. Visto que com uma pequena vibração forçada, seus eixos variaram consideravelmente e a partir desta variação dos valores dos 3 eixos, os algoritmos específicos para determinação da vibração de pontes podem ser aplicados para fazer tal análise, além da possibilidade de verificação da velocidade e aceleração em que os veículos, que atravessam tal ponte, possuem.

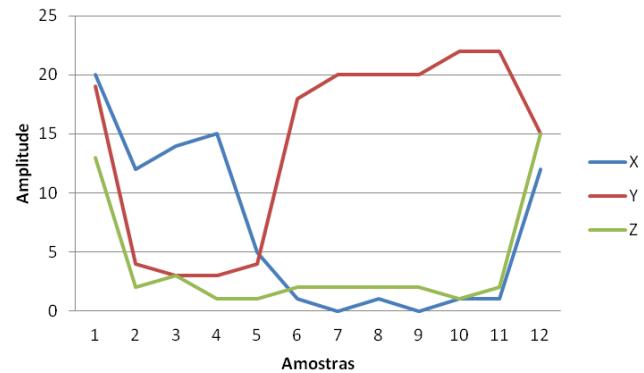


Fig. 13 - Gráfico gerado a partir dos dados recebidos pelo terminal serial, com o teste dinâmico.

Conforme supracitado foi usado um intervalo de tempo de amostragem dos dados do acelerômetro de 16 segundos. Entretanto, este tempo pode ser alterado caso seja necessário

uma taxa de amostragem maior ou mesmo menor. O tempo utilizado depende do tamanho da ponte e da velocidade máxima permitida na mesma.

V. CONCLUSÕES

O presente projeto apresenta uma aplicação de monitoração das vibrações de uma estrutura qualquer e a respectiva transmissão destes dados por meio de uma rede de comunicação móvel GSM/GPRS. Na outra extremidade da comunicação, os dados são armazenados em um servidor e dispostos de forma gráfica, a fim de facilitar a análise de especialistas em vibrações de construções.

Ao desenvolver o projeto, foram constatadas algumas limitações, que apesar de não interferirem diretamente no resultado final, devem ser relatadas a fim de facilitar a execução, no caso de uma nova implementação. O acelerômetro triaxial utilizado, por ser um transdutor extremamente sensível, possui uma alta resolução de amostragem e seus eixos variam constantemente, o que torna difícil o ajuste inicial, ou seja, obter os valores de referência em ao menos dois dos três eixos. Para isso, deve-se escolher um local com o mínimo de movimentação possível para a parametrização.

A escolha inicial de um microcontrolador com módulos expansíveis (Arduíno) mostrou que em aplicações específicas, como no caso da conexão com a rede GSM/GPRS da operadora, torna-se inviável seu uso, pois as bibliotecas prontas fornecidas pelo fabricante não permitem a obtenção dos parâmetros necessários para que adaptações de aplicações possam ser realizadas. Devido a esta limitação, o emprego de microcontroladores programados em linguagem C foi selecionado e é indicado em projetos futuros envolvendo comunicação GSM/GPRS.

Apesar dos inconvenientes, o objetivo do projeto foi atingido. A transmissão dos dados de vibração, captados pelo acelerômetro, foi feita de forma precisa, garantindo confiabilidade e segurança da informação, atendendo assim às exigências do projeto. Com isso, os gráficos de vibração foram gerados de forma remota, o que permite que um especialista possa verificar em tempo real, as condições físicas da estrutura de uma ponte, de qualquer lugar do planeta.

O kit de comunicação móvel GSM/GPRS utilizado contém muitas outras funcionalidades. Sendo assim, um dispositivo

contendo apenas o microcontrolador, o acelerômetro e o módulo GSM/GPRS pode ser montado para que, dotado de uma bateria, possa ser acoplado em uma estrutura qualquer para a captação das vibrações.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao PROBIC/FAPEMIG pelo apoio financeiro ao projeto e também ao Engenheiro Jardel Caproni, pelo apoio profissional e orientações que contribuíram para a conclusão do trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica da PUC Minas campus Poços de Caldas, por todo o apoio cedido ao longo do curso e do projeto

REFERÊNCIAS

- [1] J. G. M. Soler; "Instrumentação de Pontes Visando Manutenção e Controle de Cargas"; Revista Vértice; CREA-MINAS; nº 17, ISSN 2177-5362; 2013
- [2] A. L.Garcia; I. Widja; "Communication Networks – Fundamental Concepts and Key Arquitectures"; McGraw-Hill; 2 ed.; 2003.
- [3] M. S. de Alencar Telefonia Celular Digital". 2^a ed. São Paulo: Editora Érica,2011.
- [4] J. S. B. Ramos, "Instrumentação Eletrônica Sem Fio: Transmitindo Dados com Módulos XBee ZigBee e PIC16F877A". 1 ed. São Paulo Editora Érica, 2012. 238p.
- [5] P. Cardieri, "Análise de redes ad hoc sem fio". Notas de aula. DECOM, FEEC, Unicamp, Campinas. 2013. Disponível em: http://www.decom.fee.unicamp.br/~cardieri/IE308_2Sem2013.html
- [6] TELECO; "www.teleco.com.br/cobertura.asp"; Acessado em: 18/09/2014.
- [7] J. U. Sverzut; "Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a Caminho da Quarta Geração"; 2^a Ed . São Paulo, Érica, 2008.
- [8] G. W Denardim; "Apostila de Microcontroladores". Disponível em: http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila_micro.pdf. Acessado em 19/09/2014.
- [9] W. S. Zanco "Microcontroladores PIC 16F628A/648A: Uma Abordagem Prática e Objetiva". 1^a ed. São Paulo: Érica, 2005.
- [10] D. J. Souza. "Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A" 8^a ed. São Paulo: Érica, 2005.
- [11] F. S Rocha; "Propriedades de um acelerômetro eletrônico e possibilidades de uso no ensino de mecânica". Disponível em:http://www.lajpe.org/march13/6_LAJPE_739_Fabio_Saraiva_prepri nt_corr_f.pdf. Acessado em 22/11/2014.
- [12] Freescale; Datasheet MMA7456 - Disponível em :http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7456L.pdf. Acessado dia 24/11/2014.
- [13] PUC MINAS, Reportagem: Concreto Monitorado; pág. 24; Revista PUC Minas, nº 10; Ed. PUC Minas, Belo Horizonte, 2014.

IPTV e o Protocolo IPV6

Tárcio Rodrigues Dutra
Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
tarcirodutra@gee.inatel.br

Ivo de Souza Abrão
Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
ivode@gee.inatel.br

Carlos Roberto dos Santos
Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
carlos@inatel.br

Resumo — A Televisão é um importante meio de comunicação para a sociedade e teve seu inicio no começo do século XX. No decorrer da evolução das telecomunicações a televisão passou por grandes mudanças, e ao passo que a nova geração de espectadores exige mais do sistema televisivo, o mercado por si só começa a buscar novas ferramentas ou meios para satisfazê-los, nesse ponto começa a surgir à pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias que possam suprir a necessidade dos interessados. Essa pesquisa se alinha a esse pensamento, realizar um estudo de uma tecnologia que a cada dia se torna mais comum, principalmente em grandes centros, o IPTV – Internet Protocol Television.

Questões do tipo, o que acontece, em nível de protocolo, quando um usuário “sintoniza” um canal e como é o aspecto de uma rede que suporta um serviço televisivo interativo, foram os grandes motivadores para que tal artigo fosse produzido.

Palavras chave — FTTH, IPTV, O Futuro da Televisão, IPv6, Multicast.

I. INTRODUÇÃO

Com a atual demanda por conteúdos televisivos de alta definição e com o acréscimo da interatividade, novas tecnologias vêm surgindo para satisfazer esse panorama. Nesse momento o IPTV se torna interessante, ele pode integrar o que hoje se chama de redes multimídias ou NGN – Next Generation Networks, que transportam voz, vídeo, áudio e dados com alta fidelidade em uma única rede, satisfazendo e muito o mercado.

A pesquisa ficou dividida em estudos do protocolo IPv6 e a arquitetura de rede que pode suportar esse serviço com alta qualidade, para tal foi escolhida arquitetura das redes FTTH – Fiber to the Home, que vem a cada dia ganhando mais espaço nas grandes networks.

II. OBJETIVOS

Realizar um estudo teórico sobre o que “forma” o IPTV, foi desde o inicio o objetivo, mas como o assunto é vasto e seria necessário mais tempo para dedicar a sua compreensão, foi necessário selecionar alguns pontos relevantes para assim dar continuidade.

Como primeiro passo, foi necessário analisar a arquitetura que iria suportar o serviço, conhecer os seus principais componentes e descrevê-los, tal análise está melhor detalhada nos tópicos a seguir. No segundo momento, foi abordado o

protocolo IPv6 e sua contribuição no desempenho do IPTV, mas para tal entendimento foi necessário conhecer o seu antecessor, o IPv4, que se assemelha e possibilita a compreensão de seu desenvolvimento.

A. Diferença entre IPTV e TV pela internet

Como o nome sugere TV pela Internet utiliza a Internet para fornecer vídeo conteúdo aos usuários finais. IPTV, ao contrário, usa redes privadas dedicadas seguras para fornecer conteúdo de vídeo para os consumidores. Estas redes privadas são geridas e operadas pelo provedor do serviço IPTV.

B. TV pela internet

Quando o vídeo é enviado através da Internet pública, alguns dos pacotes de Protocolo de Internet utilizado para transportar o vídeo podem ser atrasados ou completamente perdidos enquanto atravessam as diversas redes que compõem a Internet pública. Como resultado, os prestadores de vídeo sobre o conteúdo da Internet não podem garantir uma experiência de visualização de TV igual a cabo ou a tradicional de visualização de televisão por satélite. Em fato, o vídeo transmitido pela Internet, por vezes, pode aparecer jerky na tela da TV e a resolução da imagem é muito baixa. O conteúdo do vídeo é geralmente entregues aos usuários finais de uma forma "melhor esforço".

C. IPTV

Em comparação com esta experiência citada anteriormente, IPTV é entregue através de uma rede com infraestrutura, que normalmente é de propriedade do prestador de serviços. Possuir a infraestrutura de rede permite que as operadoras de telecomunicações possam projetar seus sistemas para suportar a entrega fim-a-fim com alta qualidade de vídeo. Através dessa também é possível oferecer Vod - Video on Demand, que é um serviço mais interativo, onde o usuário pode selecionar conteúdos armazenados no Data Center do prestador do serviço.

D. IPTV, uma abordagem da infraestrutura da rede de distribuição

Um provedor de serviços de telecomunicação pode oferecer IPTV através de diversas infraestruturas, como Wireless, x-DSL, Via Satelite, Fibra Óptica, etc, mas para satisfazer as necessidades do serviço é necessário uma rede com garantia de banda, para que não ocorram atrasos na transmissão.

Para esse estudo será considerada uma infraestrutura de rede FTTH, que garante uma largura de banda satisfatória para o usuário.

E. Rede GPON - FTTH

Uma rede GPON-FTTH (Fiber to the Home, Fibra até a residência do usuário) é assim chamada por ter como característica a entrega do serviço através de fibra óptica até a residência do usuário, evitando assim a necessidade de equipamentos intermediários externos que convertam de fibra para, a exemplo, cabo coaxial.

Os elementos que compõem a rede desde a central de distribuição até o ponto final são passivos, salvo algumas particularidades, como repetidores. A figura 1 mostra um exemplo de estrutura, seguido da tabela I que cita alguns parâmetros.

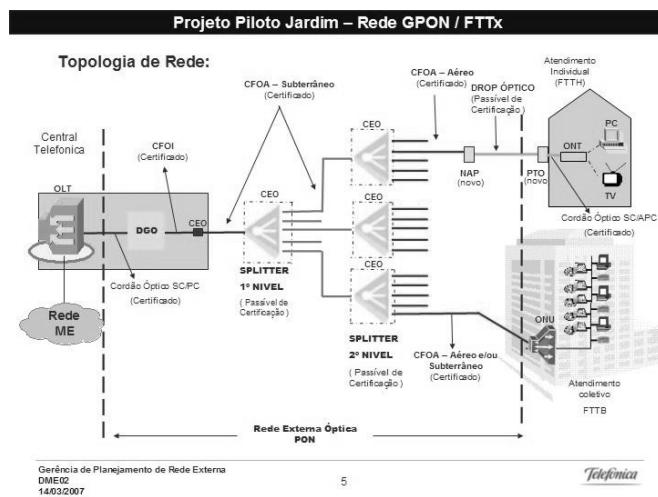


Figura 1 - <http://nowloaded.org/forum/index.php?showtopic=198129>

TABELA I -
HTTP://WWW.TELECO.COM.BR/TUTORIAIS/TUTORIALSOLFO1/
PAGINA_3.ASP

Parâmetro	Especificações GPON
Serviço	Aplicação em: 10/100 Base-T Ethernet, Telefonia Analógica, SONET/SDH, TDM, ATM.
Taxa de Dados	Downstream: 1,244 e 2,488 Gbit/s; Upstream: 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1,244 Gbit/s, 2,488 Gbit/s
Distância	10 a 20 km máximo
Número de Divisões	Máximo 64 divisões
Comprimentos de onda	Downstream voz/dados: 1480 to 1500nm; Upstream voz/dados: 1260 to 1360 nm; Downstream de vídeo: 1550 to 1560 nm
Proteção (comutação)	Proteção Totalmente Redundante 1+1; Proteção parcialmente Redundante 1:N
Segurança	A segurança de informação no nível de protocolo para o tráfego de downstream: por exemplo, a utilização do Advanced Encryption Standard (AES).

F. DATA CENTER

É o local onde se concentra todos os equipamentos necessários para fornecer os serviços ao usuário. Os canais televisivos podem ser obtidos de diversas maneiras (IRD – Dispositivos receptores integrados), por fornecedores de conteúdo via satélite/terrestre, produtores locais, etc. Além dos canais em tempo real, existe a possibilidade de fornecer conteúdos armazenados (Vod), como filmes, possibilitando assim que o próprio usuário faça sua programação, é possível encarar essa parte do Data Center como um servidor cache, que possibilita armazenar diversos conteúdos que posteriormente serão solicitados pelos usuários. Daí vem o grande problema desse serviço, cada solicitação é unicast, a rede terá seu tráfego aumentado consideravelmente.

Um sistema de gerenciamento (OBSS) deve existir para acomodar os perfis de cada usuário, a fim de fazer o controle de tarifas, planos de direito de uso, informações sobre o cliente, status dos serviços, alarmes, etc.

G. IPTVCD

O IPTVCD, figura 2, pode ser considerado um modem/receptor, esse será o responsável por separar o fluxo de vídeo que está chegando do fluxo de dados.

Dentro da residência do usuário (LAN) é possível oferecer múltiplos pontos de acesso ao IPTV.



Figura 2 - http://www.radiogears.com/inet100_1.html

H. IPTV sobre FTTH

A estrutura de uma rede para IPTV pode ser simplificada e dividida em duas partes, a primeira sendo o núcleo (Data Center) onde se concentra todos os equipamentos de controle, gerenciamento, agregadores de serviço, etc. A segunda parte é a distribuição que será feita sobre a rede FTTH, onde no final da fibra (na casa do assinante) deverá existir o IPTVCD (Set Top Box) que é responsável pela separação do fluxo de vídeo do fluxo de dados.

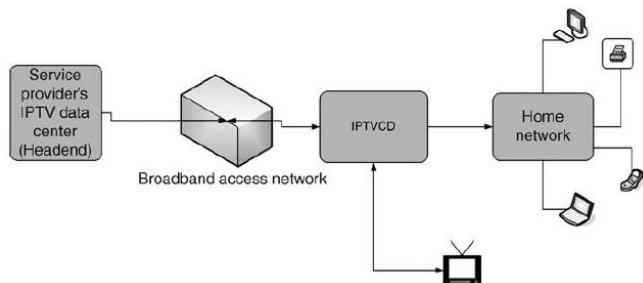


Figura 3 - [1] Rede IPTV simplificada

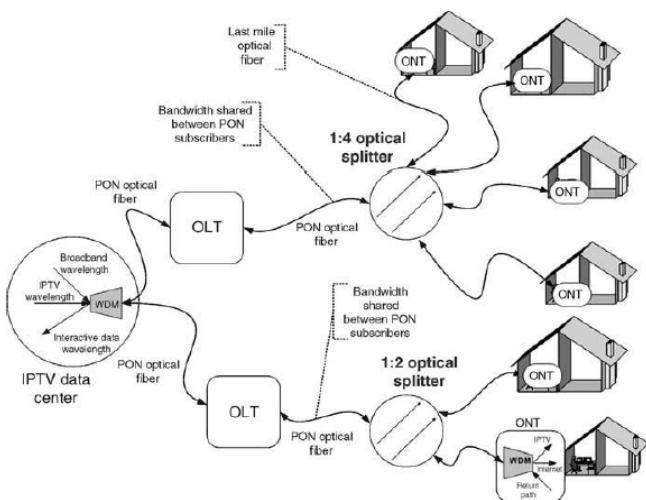


Figura 4 - [1] Rede baseada em FTTH

I. Sistemas do DATA CENTER

As figuras abaixo demonstram um sistema genérico de controle (IPTV pressing system) e agregação de valor ao serviço, em que IP CORE NETWORK e ACCESS NETWORK se refere à arquitetura da rede de distribuição, que no caso em estudo é a rede GPON – FTTH.

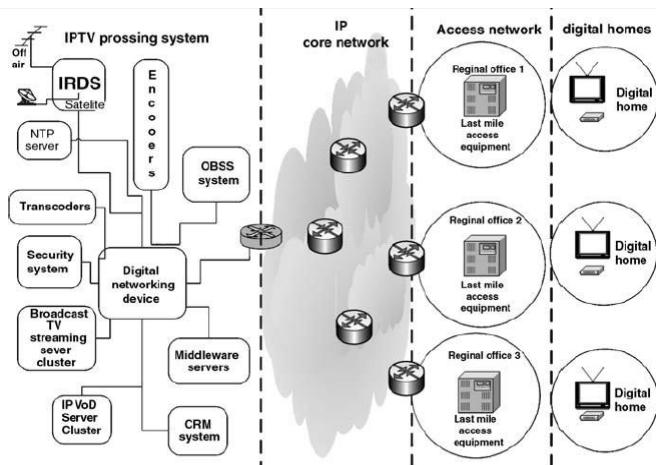
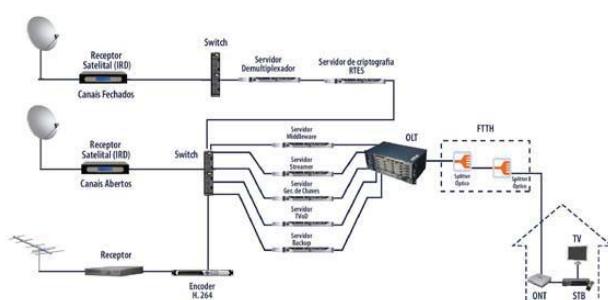


Figura 5

Figura 6 - http://set.org.br/artigos/ed138/ed138_pag78.asp

Algumas “caixas” que compõem o IPTV pressing system são implementadas em hardwares e outras em softwares. Abaixo segue alguns detalhamentos:

J - IRDS

São dispositivos (figura 7) que recebem de diversas fontes, a exemplo, satélite, fibra óptica, etc, serviços que serão tratados (codificados) para posteriormente serem distribuídos.

Figura 7 - http://pimages.solidsignal.com/H-HD-IRD_medlrg.jpg

2 – OBSS

Como citado anteriormente, esse é um subsistema responsável por gerir o serviço, tanto para ajudar no controle dos usuários como no controle do próprio Data Center.

Algumas informações que podem ser analisadas:

- . Nome e endereço de assinantes. Faturamento e detalhes de pagamento
- . Programas de multicast de IPTV necessário
- . Ativos IP-VoD
- . Reunindo informações de uso associados a determinados tipos de serviços de IPTV.
- . Monitoração do status de provisionamento de pedidos e atualização em conformidade.

3 – Security System

O objetivo do sistema de segurança IPTV é restringir o acesso a assinantes e proteger contra o roubo de conteúdo IPTV. O sistema de segurança é composto por duas partes: Acesso Condisional (CA) e Gestão de Direitos Digitais (DRM).

4 – IP Vod Server Cluster

São um conjunto de servidores Cache que armazenam o conteúdo que ficará disponível para o cliente, esses são implementados com um software que prestará ajuda a gestão do Vod.

K. Largura de Banda Requerida

A largura de banda irá depender do numero de canais ofertados e da técnica de compressão utilizada nos canais. Considerando que os canais foram comprimidos com H.264, a taxa por canal será de 2Mbps, ou seja, para um total de 200 canais, será necessária uma rede com capacidade para 400Mbps, visto que é um serviço ofertado por multicast.

Outras análises de largura de banda requerida podem ser vistas, como em [2], onde se leva em conta fatores como a probabilidade de um dado canal ser acessado, etc.

O serviço Vod gera maior consumo de taxa TX/RX, visto que o tráfego é unicast, por isso agora deverá ser levada em conta a quantidade de usuários que possuem o serviço e ainda utilizando o padrão de compressão H.264 podemos chegar a uma largura de banda requerida apenas multiplicando o numero de usuários por 2 Mbps. Essa é mais uma vantagem de se utilizar a rede GPON para fornecer IPTV.

L. Transmissão Multicast

Multicast em redes IP, é o envio de um datagrama a vários servidores (hosts) em uma rede (network) ou inter-rede (internetwork). Muitas das novas aplicações multimídia, como IPTV ou VoIP, são multicast, entretanto, o serviço multicast utilizado para dados (email, por exemplo) não é adequado para estas tecnologias. O multicast aplicado ao serviço de email, por exemplo, não é adequado para serviços multimídia em tempo real (real-time). O multicast adequado para este tipo de aplicação requer ser inserido na camada de rede da arquitetura TCP/IP, ou seja, isto significa que o multicast necessário para aplicações em tempo real precisa ser suportado pelos roteadores intermediários e não só pelo dispositivo terminal.

M. Multicast com o Protocolo IPv4

Para entendimento do multicast aplicado pelo protocolo IPv6 é necessária uma abordagem simples e prévia sobre o funcionamento do multicast em redes ipv4. A maioria dos endereços IPv4 é destinada a identificar os hosts na rede, mas alguns destes endereços são reservados para grupos de hosts.

A seção de endereços IPv4 destinada ao multicast é onde uma vez foram definidos os endereços classe D, ou seja, de 224.0.0.0 a 239.255.255.255, sendo que alguns endereços nesta faixa são reservados pelo IANA para uso específico. Ao transmitir dados multicast, necessita-se de um endereço ethernet. Este endereço de destino pode ser mapeado a partir do endereço IP do grupo destino.

Desta maneira, o conjunto de hosts que respondem a um endereço específico IP e MAC multicast, é denominado de grupo de hosts ou grupo multicast. Os membros do grupo podem receber tráfego multicast e unicast, estar em qualquer lugar da rede, entrar e sair, pertencer a mais de um grupo ao mesmo tempo e não é preciso estar em um grupo para enviar pacotes multicast. O grupo multicast não tem limite de tamanho e podem ser temporários ou permanentes.

N. IGMP

O protocolo IGMP (*Internet Group Management Protocol*) é responsável por adicionar e remover hosts de grupos multicast. Há três versões de IGMP. O IGMPv2 usa de quatro tipos de mensagens para manter, abrir e fechar grupos assim

como para inserir e retirar membros (hosts). O formato de um pacote IGMP pode ser visto abaixo na figura 8.

0	7	15	23	31
Type	Max Resp. Time	Checksum		
			Group Address	

Figura 8 - <http://routemyworld.com/2009/01/21/bsci-ip-multicast-concepts-ii/>

A figura 9 mostra um processo de entrada em um grupo multicast.

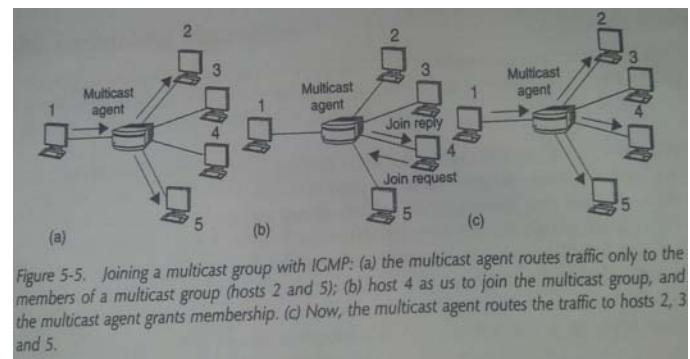


Figura 9 – [3]

Estes grupos então criados, serão o endereço de destino do fluxo IPTV que será roteado por outros protocolos.

O. Rotemaneto IGMP

A entrega de dados multicast via IP usa uma boa quantidade de protocolos e tecnologias avançadas de roteamento. Uma destas tecnologias são as de Árvores de Distribuição Multicast, que são criadas para entregar tráfego multicast a mais de um receptor. Elas são criadas em cima do endereço multicast e um link entre dois routers é usado em apenas um sentido pra evitar loop. Existem dois tipos de árvore de distribuição, a ligada à fonte e a compartilhada. Ambas são usadas para difundir tráfego IPTV via multicast

P. Protocolos de Distribuição

O protocolo IGMP é restrito ao diálogo local entre os receptores e o primeiro roteador multicast. Para que o tráfego multicast seja encaminhado através de vários saltos, a criação de uma árvore de distribuição é necessária, sendo responsabilidade do protocolo de roteamento[5].

O roteador baseado no DVMRP mantém um conhecimento topológico da rede baseado em vetores-distância sobre o qual é aplicado um algoritmo chamado TRPB (*Truncated Reverse Path Broadcasting*). Os roteadores DVMRP enxergam a rede como um único domínio e cada roteador mantém uma tabela de entrada para cada sub-rede e periodicamente troca mensagens de roteamento com seus vizinhos. Usando o algoritmo TRPB, o roteador se localiza na árvore e envia para a fonte o menor caminho para chegar até ele. Assim, caminhos

de métrica maior são eliminados. Outros protocolos também são usados, como PIM-SM e o MOSPF mas sempre com a mesma função de estabelecer uma árvore de distribuição e difundir o tráfego IPTV.

Q. O Protocolo IPV6

A realidade atual é a do esgotamento dos endereços Ipv4. Há 25 anos o protocolo IPv6 está pronto e sua inserção vem sendo adiada por protocolos de reaproveitamento de endereços IPv4, como o NAT (*Network Address Translation*), por exemplo.

O protocolo IPv6 possui várias vantagens em relação ao IPv4, como: Maior número de endereços, autoconfiguração de hosts (Plug & Play), segurança fim a fim com forte camada de criptografia IP e autenticação, melhor suporte à QoS e ao multicast e melhor suporte à adaptações futuras.

O endereço Ipv6 possui 128 bits e é usualmente escrito na forma hexadecimal. Os 64 primeiros bits são designados para identificar o PATH ou o prefixo da subrede e os 64 últimos são designados para identificar a interface. Existem alguns endereços especiais, que é o caso do endereço de loopback (:1), endereços de tuneis IPv4 sobre IPv6 (ex. ::FFFF.156.55.43.3) entre outros.

Algumas propriedades chaves para o desempenho do multicast pelo protocolo IPv6 são ICMPv6, MLD (*Multicast Listener Discovery*) e ND (*Neighbor Discovery*). O protocolo ICMPv6 é o mais importante pois controla muitos outros protocolos que são aplicados através de diferentes mensagens ICMPv6. O Protocolo ND manipula a comunicação fim a fim em um link e usa uma série de cinco tipos de mensagens ICMPv6 para isso. A figura 12 mostra a estrutura do cabeçalho base IPv6.

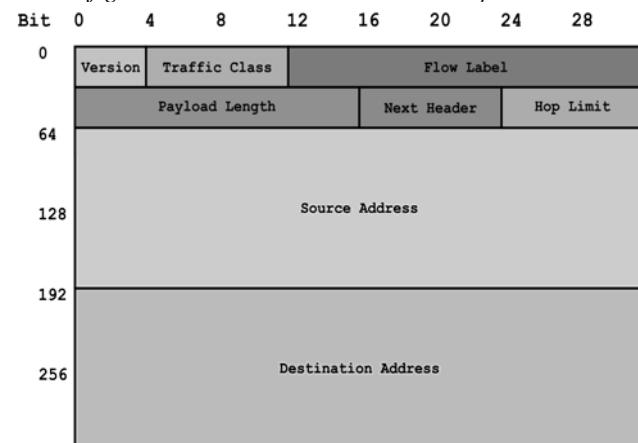


Figura 12 - http://www.tass.com.br/imagens/IPv6_header_rv1.png

A migração para o IPv6 tem sido mais lenta que o esperado, entretanto muitos dispositivos já possuem endereços IPv6 além do tradicional endereço IPv4, constituindo assim a chamada Dual IP Layer (ou Dual Stack). A utilização de técnicas de tunelamento, faz com que pacotes IPv6 sejam "embrulhados" dentro de pacotes IPv4 ao transitarem por redes não compatíveis. A RFC2893 [4] especifica formas de fazer tunelamento IPv6-sobre-IPv4.

R. Multicast IPV6

No protocolo Ipv4, a manipulação de grupos era feita pelo protocolo IGMP que atuava sobre hosts e routers de uma determinada rede. No IPv6 tem-se o protocolo MLD, que possui diversas semelhanças ao IGMP e é derivado principalmente da versão 2 de seu antecessor. O protocolo MLD é utilizado por roteadores IPv6 para descobrir quais nós da rede que desejam ouvir (receber) pacotes multicast e que estejam no mesmo enlace do roteador (links diretos). Os hosts utilizam deste mesmo protocolo para anunciar que estão interessados em um determinado fluxo de pacotes multicast de um endereço de grupo multicast específico. O IGMPv2 possui mensagens independentes, já o protocolo MLD é transportado através de mensagens do protocolo ICMPv6.

Na Figura 13, tem-se o formato de uma mensagem MLD.

Type	Code	CheckSum
Max. Resp. Delay	Reserved	
Group Address IPv6		

Figura 13: <https://memoria.rnp.br/newsgen/0111/imagens/mld6.jpg>

As mensagens MLD são:

Multicast Listener Query (type =130): Usada pelo router para descobrir nós que desejam fluxo multicast em um enlace direto. Esta mensagem tem dois subtipos: *General Query*: Usada para descobrir quais grupos multicast têm ouvintes em um enlace; e *Multicast-Address-Specific Query*: é como a anterior, mas é destinada a saber sobre um grupo multicast específico.

Multicast Listener Report (Type = 131): Parecida com os relatórios de adesão do Protocolo IGMPv2. Usada por receptores que desejam mostrar interesse em receber fluxo para endereços específicos, ou para responder uma *Query*.

Multicast Listener Done (type = 132): Parecida com a mensagem de saída de grupo do protocolo IGMPv2. Esta mensagem é aplicada por um ouvinte que deseja interromper o recebimento de fluxo multicast de certo endereço.

O campo Code da mensagem ICMPv6 aplicando o MLD deve ser "0".

Uma comparação entre o IGMPv2 é mostrada na *Tabela 1*:

	IGMPv2	MLD
Mensagens do protocolo	<ul style="list-style-type: none"> - IGMP Host Membership Query - IGMP Host Membership Report - IGMP Leave Group 	<ul style="list-style-type: none"> - ICMPv6 Multicast Listener Query - ICMPv6 Multicast Listener Report - ICMPv6 Multicast Listener Done
Valor do campo Type	<ul style="list-style-type: none"> - 11 - 16 - 17 	<ul style="list-style-type: none"> - 130 - 131 - 132
Valor para o timer de resposta a uma Query	MAXIMUM RESPONSE TIME	MAXIMUM RESPONSE TIME
Mecanismo de eleição de Querier	mecanismo próprio (apenas 1 querier por enlace)	mecanismo próprio (apenas 1 querier por enlace)
endereços IP de destino das mensagens	<ul style="list-style-type: none"> - IGMP Host Membership Query: 224.0.0.1 (General Querier) e grupo sendo interrogado (Group-Specific Query) - IGMP Host Membership Report: grupo sendo informado - IGMP Leave Group: 224.0.0.2 (todos os roteadores) 	<ul style="list-style-type: none"> - ICMPv6 Multicast Listener Query: ff02::1 (General Query) e grupo sendo interrogado (Multicast Address Specific Query) - ICMPv6 Multicast Listener Report: grupo sendo informado - ICMPv6 Multicast Listener Done: ff02::2 (todos os roteadores)
endereços MAC Ethernet de destino das mensagens	<ul style="list-style-type: none"> - IGMP Host Membership Query: 01:00:5e:00:00:01 (General Query) e 01:00:5e:(23 bits menos significativos do endereço IP multicast do grupo sendo interrogado) (Group-Specific Query) - IGMP Host Membership Report: 01:00:5e:(23 bits menos significativos do endereço IP do grupo sendo informado) - IGMP Leave Group: 224.0.0.2 (todos os roteadores) 	<ul style="list-style-type: none"> - ICMPv6 Multicast Listener Query: 33:33:00:00:00:01 (General Query) e 33:33:(32 bits menos significativos do endereço IP multicast) para grupo sendo interrogado (Multicast Address Specific Query) - ICMPv6 Multicast Listener Report: 33:33:(32 bits menos significativos do endereço IP do grupo sendo informado) - ICMPv6 Multicast Listener Done: 33:33:00:00:00:02 (todos os roteadores)

Tabela 1: adaptada de <https://memoria.rnp.br/newsgen/0111/mld5.html>

S. Funcionamento do Protocolo MLD

Os roteadores IPv6 mantêm uma tabela para cada enlace direto que contêm os endereços multicast que têm receptores no próprio enlace, junto de um *timer* para cada endereço. Para cada enlace direto do roteador é usado um de seus endereços *link-local* como endereço de origem dos pacotes MLD com destino ao mesmo enlace.

Foi atribuído que pacotes multicast IPv6 usem como endereço MAC o hexadecimal 0x3333.

Todo roteador ao ser iniciado, é iniciado como um *Querier Router*, assim como no IGMPv2, e após encontrar um roteador

com um endereço de IP de valor menor, o mesmo se torna um *non-querier*. Desta maneira apenas um roteador por enlace (o que tiver IP de menor valor) será o *Querier*. Este roteador que atua como *Querier* envia periodicamente mensagens do tipo *General Query*, para saber os endereços multicasts de interesse naquele enlace. As mensagens *General Query* são enviadas com um *timer*, para o grupo multicast de todos os nós (ff02::1) que é um grupo que toda interface está presente assim que iniciada, e funciona como um *broadcast local*.

Assim que o nó recebe uma mensagem do tipo *General Query*, ele configura um timer aleatório para cada endereço multicast que esteja ouvindo, e exclui o grupo de todos os nós do escopo.

Ao receber uma mensagem do tipo *Multicast-Address-Specific Query*, o nó configura um *timer* aleatório para este endereço específico caso esteja ouvindo o fluxo. Caso já haja um *timer* em andamento, um novo atraso é gerado e substituído caso seja que o timer corrente.

Quando um *timer* de um endereço multicast expira o nó transmite uma mensagem do tipo *Report* para aquele endereço. Se um nó recebe uma mensagem do tipo *Report* para encaminhar à um endereço multicast que possui um *timer* válido em sua lista, ele não encaminha, reduzindo assim duplicidade de pacotes semelhantes na rede.

Ao receber uma mensagem do tipo *Report*, o roteador insere o endereço em sua lista de endereços multicasts com ouvintes ligados por links diretos, caso não esteja. Além disso, o timer é alterado para o valor "*Multicast Listener Interval*" e notificará os protocolos de roteamento sobre o novo endereço incluso. Caso o endereço já esteja na lista, o timer em andamento é substituído novamente pelo valor "*Multicast Listener Interval*" se o timer expirar, assume que o roteador não possui ouvintes interessados neste fluxo e o endereço é apagado e o protocolo de roteamento avisado.

Quando um nó parar de ouvir um endereço *multicast* em uma interface, ele deve enviar uma mensagem *Done* para o endereço *multicast all-routers* do enlace, carregando no campo *Multicast Address* o endereço em que se está deixando de ouvir. No caso deste nó ter recebido um *Report* de outro nó, a implementação não necessita enviar uma mensagem *Done*, já que é muito provável que ainda haja ouvinte para aquele endereço no enlace.

Se um roteador for um *Querier* e receber uma mensagem *Done* de um nó e o endereço *multicast* identificado na mensagem estiver na lista do roteador, ele enviará uma mensagem *Multicast-Address-Specific Query* para verificar se ainda existe algum ouvinte daquele endereço no enlace. Se após um certo intervalo, o roteador não receber *Report* de nenhum nó, ele assumirá que não há mais ouvintes para aquele endereço, e apagará a entrada de sua lista. O protocolo de roteamento *multicast* terá conhecimento disto também.

T. Exemplo de Transmissão IPTV

A figura 14, mostra uma estrutura com dispositivos finais e iniciais de uma conexão IPTV.

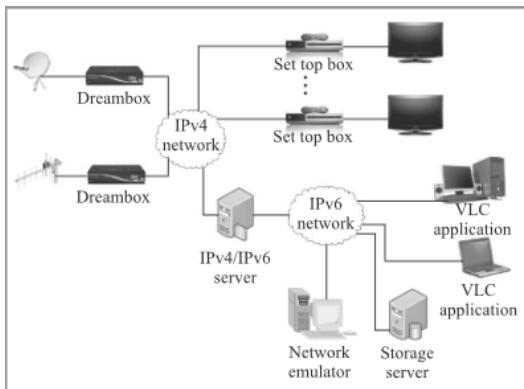


Figura 14 - [6]

Para começar a receber um fluxo IPTV, o host IPv6 deve enviar uma mensagem *Multicast Listener report* do protocolo MLD para o endereço de grupo pertencente ao dreambox. Ao receber esta mensagem, o host entra no grupo. Se ainda não houve transmissão (por o grupo não possuir ouvintes), o servidor IPv6 começa enviar o fluxo aos hosts (no caso, um só).

Uma outra possibilidade (figura 15), é a de quando a dreambox envia um fluxo IPv6 e o servidor é responsável por traduzir este fluxo em IPv4, como mostrado na figura. E no domínio IPv4 o servidor opera fazendo parte da Árvore de distribuição compartilhada para o grupo multicast.

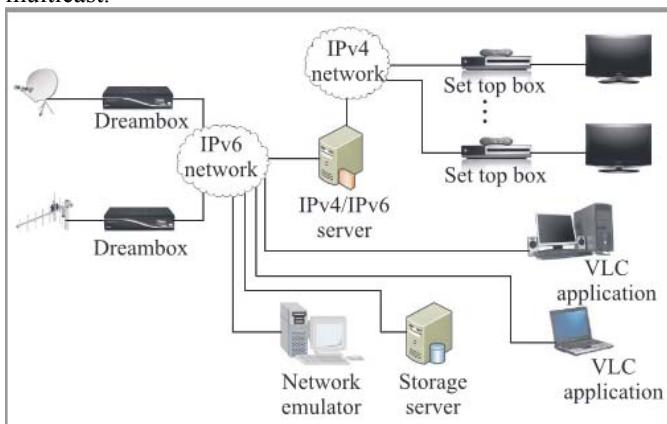


Figura 15 - [6]

U. Conclusões

Os protocolos IPv6 e Ipv4 vão coexistir por mais algumas décadas.

É possível a implementação de redes IPTV utilizando o protocolo IPv6 e este cenário se dá de duas formas:

- Atual arquitetura *Dual Stack* com IPv4 e IPv6 coexistindo.

- Uma arquitetura apenas IPv6 prevista para um futuro próximo.

Na arquitetura atual, considerando o servidor sendo IPv6 e o receptor também. O fluxo IPv6 é encapsulado em pacotes IPv4 ao longo do trajeto, assim tendo uma leve perda de eficiência (bits de informação/bits totais) e exigindo mais do hardware da rede, o que é um problema pois a arquitetura IPTV possui, em sua maior parte, uma estrutura privada da provedora de canais que precisará ser mais cara para um mesmo fim.

Já em uma topologia apenas IPv6, os pontos são diferentes. O desempenho IPv6, à nível de protocolo, não é muito superior pois os protocolos *multicast* presentes no IPv6 são, em sua maioria, apenas uma tradução para o IPv6 dos protocolos existentes no IPv4. A vantagem vem em outros pontos do IPv6, como IPsec, controle de fluxo feito pelo campo *Flow Label* no cabeçalho principal e a facilidade proporcionada pela capacidade de auto-configuração proporcionada pelo protocolo.

V. REFERÊNCIAS

- [1] O'DRISCOLL, G., "Next Generation IPTV Services and Technologies", John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.
- [2] Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Paraná. Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/anais/sbri/SBrT27/Sess%C3%A3o%20de%20P%C3%B4steres_TICs/Sess%C3%A3o%20de%20P%C3%B4steres%20II/9_58365.pdf Acesso em 10 de outubro de 2014.
- [3] J. M. Caballero, F. J. Hens, "Triple Play – Building the Converged Network for IP, VoIP and IPTV", 1nd ed., John Wiley & Sons, 2008.
- [4] E. Nordmark e R. Gilligan "RFC 2893: IPv6 Transition Mechanisms". Agosto 2000.
- [5] <http://www.gta.ufrj.br/ftp/gta/TechReports/CoDu03.pdf>
- [6] <http://www.nit.eu/czasopisma/JTIT/2011/2/31.pdf>
- [7] S. Hagen, "IPv6 Essentials" - O'Reilly (2002)

Determinação Analógica da Defasagem Entre Sinais

Gabriel Bastos Barbosa Luz
Formando/ic

Depto de Eletrônica/Poli/UFRJ
gabrielobae@poli.ufrj.br

Ricardo Rhomberg Martins
Professor/orientador

Depto de Eletrônica/Poli/UFRJ
ricardo@del.ufrj.br

Resumo — Várias formas de cálculo da defasagem entre dois sinais, base para a determinação da direção de chegada de um sinal (DOA) e outras aplicações, são apresentadas e comparadas. Uma análise das vantagens e desvantagens de cada uma é feita com a intenção de reforçar o entendimento do assunto analisado e preparar o estudo de formas mais sofisticadas de cálculo das mesmas grandezas.

Palavras-chave — Algoritmos, Arduino, Defasagem entre sinais, Direção de Chegada (DOA), Matlab.

I. INTRODUÇÃO

O fato da velocidade de propagação das ondas sonoras e eletromagnéticas ser finita faz com que os tempos de chegada das mesmas em diferentes sensores, que não estejam dispostos numa reta ou plano perpendicular à direção de sua propagação, sejam diferentes. Elas chegarão mais tarde naqueles que estiverem mais longe da fonte, supondo neste artigo que a fonte está suficientemente distante para que se possam considerar paralelos os raios de incidência nos sensores. Trata-se de uma questão naturalmente tridimensional. Em busca de maior clareza didática, as representações neste texto, como no exemplo da figura 1, serão planas. Num caso mais genérico poderia ser necessário projetar neste plano os sinais que viessem de fora dele.

Far-se-ão sempre referências a “sensores” que podem ser microfones ou antenas. As experiências citadas foram feitas com ondas sonoras devido às restrições dos A/D utilizados.

momento em que ele chegará no microfone M2. Este atraso é consequência do trecho a mais que ele vai ter de percorrer (denominado x na figura 1) com velocidade finita (340 m/s no caso do som no ar e 3×10^8 m/s no caso das ondas eletromagnéticas).

A determinação deste atraso permite o cálculo da direção em que a onda está chegando. Na figura 1, a distância entre os microfones foi considerada igual a meio comprimento de onda, o que acarretaria um atraso de meio período se a onda viesse na direção da reta suporte dos sensores. A defasagem entre tensão e corrente permite calcular o fator de potência de uma carga.

Este artigo mostra várias técnicas usadas no cálculo da defasagem entre dois sinais que foram amostrados com um arduino e gravados nos arquivos denominados dados1 e dados2. Uma aplicação imediata deste tipo de procedimento é a determinação da direção de chegada de sinais ondulatórios (sonoros ou eletromagnéticos). A determinação da origem de defeitos em transformadores buscando a origem de zumbidos e faíscas existentes em seu interior segue estes princípios. Outra aplicação é o cálculo do fator de potência de uma carga (cosseno da defasagem entre tensão e corrente).

Neste artigo será apresentado um método gráfico de determinação da defasagem através da visualização dos sinais e de programações de alto nível e de um microcontrolador; uma solução que usa o produto entre os sinais; será visto também como se pode obter esta informação através do produto escalar dos vetores que representam os sinais; e o uso da FFT dos sinais com o mesmo fim.

Os respectivos resultados aparecerão nas seções correspondentes. Comentários e comparações serão feitos na seção VI.

II. MÉTODO GRÁFICO

É o mais intuitivo deles:

A. Usando um software para traçar os gráficos

Podem-se traçar gráficos, como o que se vê na figura 2, que facilitem a visualização dos dados e a intuição do problema com o auxílio de softwares adequados (como o Excel, por exemplo) [1].

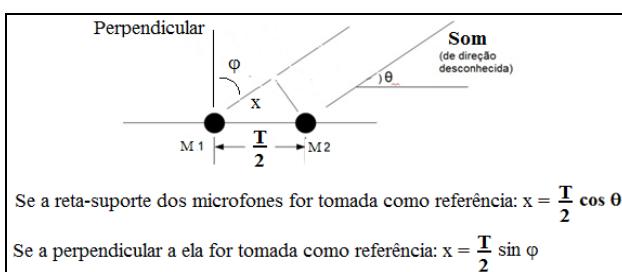


Fig.1. Sinal incidente em dois sensores

Uma vez que as direções das ondas são paralelas, fica claro que o sinal chegará atrasado no microfone M1 em relação ao

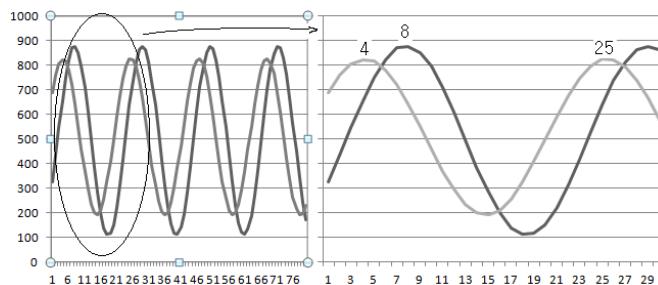


Fig. 2. As senoides defasadas do arquivo dados1

É fácil notar na figura 2 que, em números de amostras, o período da senóide amostrada no arquivo dados1 é $(25-4) = 21$. A defasagem entre os sinais é $(8-4) = 4$.

Se for necessário, uma regra de três permite exprimir esta defasagem em graus:

$$\frac{4}{21} = \frac{\theta_{\text{graus}}}{360} \Rightarrow \theta_{\text{graus}} = 68,57^\circ \quad (1)$$

Ou, em radianos:

$$\frac{4}{21} = \frac{\theta_{\text{rad}}}{2\pi} \Rightarrow \theta_{\text{rad}} = 1,2\text{rad} \quad (2)$$

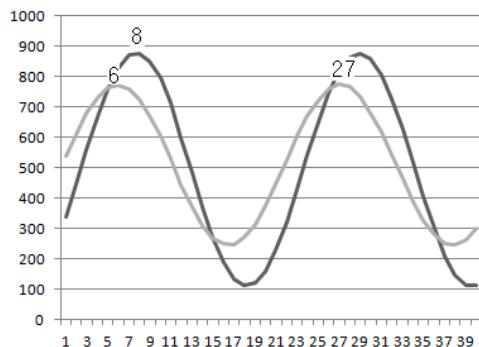


Fig. 3. As senoides defasadas do arquivo dados2

Fazendo-se os mesmos raciocínios em relação à figura 3, que representa o sinal do arquivo dados2, conclui-se agora que a defasagem entre os sinais vale: $2/21 * 360 = 34,28^\circ$.

B. Solução gráfica usando um arduino

A percepção usada no item anterior pode ser substituída por um programa que detecte os picos das senóides automaticamente.

Num arduino [2], as linhas abaixo permitiriam fazê-lo:

```
i=2; // 2 porque abaixo se faz referência a i-1

while (i<=60) { // 60 para não chegar a 80 no i+1 abaixo
    if (sinal_original_um[i-1] <= sinal_original_um[i] &&
        sinal_original_um[i] > sinal_original_um[i+1])
    {
        contador_de_picos_um = contador_de_picos_um + 1;
        Pico_sinal_um[contador_de_picos_um] =
            sinal_original_um[i];
        tempo_do_pico_um [contador_de_picos_um] = time1[i];
    }
```

```
if (sinal_original_dois[i-1] <= sinal_original_dois[i] &&
    sinal_original_dois[i] > sinal_original_dois[i+1])
{
    contador_de_picos_dois = contador_de_picos_dois + 1;
    Pico_sinal_dois[contador_de_picos_dois] =
        sinal_original_dois[i];
    tempo_do_pico_dois [contador_de_picos_dois] = time2[i];
}
i++;
}

periodo = tempo_do_pico_um [2] - tempo_do_pico_um [1];
Diferenca_de_tempos = abs(tempo_do_pico_dois [1] -
tempo_do_pico_um [1]);
```

As saídas “período” e “Diferenca_de_tempos” agora são dadas em microssegundos porque a amostragem dos sinais foi feita usando os seguintes comandos:

```
i = 1;
while (i<=80) {
    sinal_original_um[i] = analogRead(analogPin1); // lê 100
valores da 1a. entrada
    time1[i] = micros();
    sinal_original_dois[i] = analogRead(analogPin2); // lê 100
valores da 2a. entrada
    time2[i] = micros();
    i++;
}
```

Com a ajuda deste software foram obtidos os seguintes valores para as defasagens:

Resultados obtidos pelo método gráfico usando o arduino para o arquivo dados1:

Frequência = 1012,15 Hz

Defasagem relativa via método gráfico usando o arduino = 61,21°

Resultados obtidos pelo método gráfico usando o arduino para o arquivo dados2:

Frequência = 1008,06 Hz

Defasagem relativa via método gráfico usando o arduino = 26,13°

C. Solução gráfica usando o matlab

O mesmo raciocínio pode ser seguido usando-se as seguintes linhas em um programa de Matlab:

```
j=1;
for i=2:(length(X)-1)
    if (X(i-1)<=X(i))&&(X(i)>X(i+1))
        MAX_X(j) = t1(i);
        j=j+1;
    end
end
j=1;
for i=2:(length(Y)-1)
    if (Y(i-1)<=Y(i))&&(Y(i)>Y(i+1))
```

```

MAX_Y(j) = t2(i);
j=j+1;
end
end

% Tendo os pontos de máximo de cada
% senoide, determina-se seu período
periodo=0;
for i=2:(length(MAX_X))
    periodo=periodo+MAX_X(i)-MAX_X(i-1);
end
% i sai deste loop com o número de
% máximos de X
periodo=periodo*0.000001/(i-1); % O tempo
está em microssegundos
% (i-1) para calcular o período médio
frequencia = 1/periodo;
%Determinando a fase e diferença de tempo
dos dois sinais
fase=0;
for i=1:limite
    fase=fase+abs(MAX_Y(i)-MAX_X(i));
end
fase=fase/limite; % "fase" também é uma
média entre várias fases
diferencaTempo=fase*0.000001; %
diferencaTempo é a fase em milisegundos

DefasagemEntreOsSinaisViaMetodoGrafico_graus = 360*diferencaTempo/periodo;

```

Resultados obtidos pelo método gráfico usando o Matlab para o arquivo dados1:

frequencia = 1.0108e+003
DefasagemEntreOsSinaisViaMetodoGrafico_graus = 52,03°

Resultados obtidos pelo método gráfico usando o Matlab para o arquivo dados2:

frequencia = 1.0094e+003
DefasagemEntreOsSinaisViaMetodoGrafico_graus = 21,80°

III. MÉTODO DO PRODUTO DOS SINAIS

Pelo que se depreende das figuras 2 e 3, conclui-se que os sinais contidos nos arquivos podem ser expressos como:

$$Sinal_1 = A + A' \cos(\omega t) \quad (3)$$

$$Sinal_2 = B + B' \cos(\omega t + \Delta) \quad (4)$$

O produto dos dois é dado por:

$$P = [A + A' \cos(\omega t)][B + B' \cos(\omega t + \Delta)] \quad (5)$$

O valor médio do produto dos sinais permite expressar o cosseno da defasagem no tempo entre eles:

$$E\{P\} = AB + \frac{1}{2} A' B' \cos \Delta \quad (6)$$

Logo:

$$\Delta = \cos^{-1}\left(2 \frac{E\{P\} - AB}{A' B'}\right) \quad (7)$$

A. Solução produto usando o arduino

Implementando num arduino a equação 7, obtemos os seguintes resultados [3]:

```

float Diferenca_entre_os_sinais_rad =
acos((float)(ulongMedia_prod -
ulongMedia_sinal_um*ulongMedia_sinal_dois)*2/ulongAmplitude_sinal_um/ulongAmplitude_sinal_dois);

Serial.print ("Defasagem entre os sinais via produto = ");
Serial.print(180*floatDiferenca_entre_os_sinais_rad/npi);
Serial.println (" graus");

```

Resultados obtidos usando o método do produto no arduino (dados1):

Defasagem entre os sinais via produto = 57,70°

Resultados obtidos usando o método do produto no arduino (dados2):

Defasagem entre os sinais via produto = 20,48°

B. Solução produto usando o matlab

No programa em Matlab, eliminamos as médias dos sinais fazendo A=B=0 e obtivemos:

```

% Somando os sinais para obter as suas
medias
soma_sinal_um = 0;
soma_sinal_dois = 0;
for i=1:length(X)
    soma_sinal_um = soma_sinal_um + X(i);
% soma todos os valores de todas
% as amostras do sinal um
    soma_sinal_dois = soma_sinal_dois +
Y(i);
end
% Calculando as médias dos sinais
Media_do_sinal_um =
soma_sinal_um/length(X);
Media_do_sinal_dois =
soma_sinal_dois/length(X);
% Calculando os valores dos sinais sem
médias
for i=1:length(X)
sinal_um_sem_media(i) = X(i) -
Media_do_sinal_um;
sinal_dois_sem_media(i) = Y(i) -
Media_do_sinal_dois;
end

```

```

plot(t1,sinal_um_sem_media, 'r',
t2,sinal_dois_sem_media, 'g')
% Calculando o produto dos dois sinais
for i=1:length(X)
Produto_dos_sinais(i) =
sinal_um_sem_media(i) *
sinal_dois_sem_media(i);
end
% Calculando as amplitudes, a soma e o
valor médio do produto dos sinais
soma_sinal_produto = 0;
Amplitude_1o_Sinal = 0;
Amplitude_2o_Sinal = 0;
for i=1:length(X)
if (X(i) > Amplitude_1o_Sinal)
Amplitude_1o_Sinal = X(i);
end

if (Y(i) > Amplitude_2o_Sinal)
Amplitude_2o_Sinal = Y(i);
end
soma_sinal_produto = soma_sinal_produto +
Produto_dos_sinais(i);
end
Media_do_sinal_produto =
soma_sinal_produto/length(X); %este
resultado é
% igual a  $1/2[A'B'\cos(\text{defasagem entre os
sinais})]$ . A' e B' são as ampli-
tudes dos sinais

DefasagemEntreOsSinaisViaProduto_graus =
acosd(2*Media_do_sinal_produto/Amplitude_
1o_Sinal/Amplitude_2o_Sinal)

```

Resultados obtidos usando o método do produto no Matlab para o arquivo dados1:

frequência = 1.0108e+003

DefasagemEntreOsSinaisViaProduto_graus = 52,37°

Resultados obtidos usando o método do produto no Matlab para o arquivo dados2:

frequência = 1.0094e+003

DefasagemEntreOsSinaisViaProduto_graus = 18,84°

IV. MÉTODO DE DESLOCAMENTO E PRODUTO ESCALAR DOS VETORES

Lembrando que o produto escalar entre dois vetores pode-se escrever como:

$$x_1 \cdot x_2 = |x_1| |x_2| \cos \gamma, \quad (8)$$

que será máximo quando ambos estiverem em fase ($\gamma = 0$) e mínimo quando estiverem em contra-fase ($\gamma = 180^\circ$). Desta forma, pode-se pensar em “ir deslocando” x_2 em relação a x_1 e calculando o produto escalar entre ambos em cada posição até que se encontre seus pontos de máximo e mínimo.

O número de deslocamentos unitários necessário para chegar a um máximo será a defasagem, em número de amostras, entre os sinais [4]. Já o número de amostras entre um máximo e um mínimo será meio período do sinal em questão. Uma regra de três permitirá exprimir esta defasagem γ em graus ou radianos.

```

for i=1:length(X)
    ProdScalar(i)=X*Y;
    k=X(length(X)); % Guarda o último
valor de X no vetor
    for j=1:length(X)-1
        X(length(X)-j+1)=X(length(X)-j);
    % Desloca o vetor X de uma posição
    end
    X(1)=k; % Substitui o 1o. valor de X
pelo último
end

plot(1:length(X), ProdScalar);

xlabel('Índices correspondentes');
ylabel('Maximos e Minimos do Produto
Escalar');

for i=2:(length(ProdScalar))
    if (ProdScalar(i-
1)<ProdScalar(i))&&(ProdScalar(i)>ProdScalar(i+1))
        break;
    end
pontoMax=i

for i=2:(length(ProdScalar))
    if (ProdScalar(i-
1)>ProdScalar(i))&&(ProdScalar(i)<ProdScalar(i+1))
        break;
    end
pontoMin=i

faseRad=pontoMax*pi/(pontoMin-pontoMax)

faseGraus= pontoMax*180/(pontoMin-
pontoMax)

```

Traçando o gráfico desta implementação, obtemos o sinal representado na figura 4:

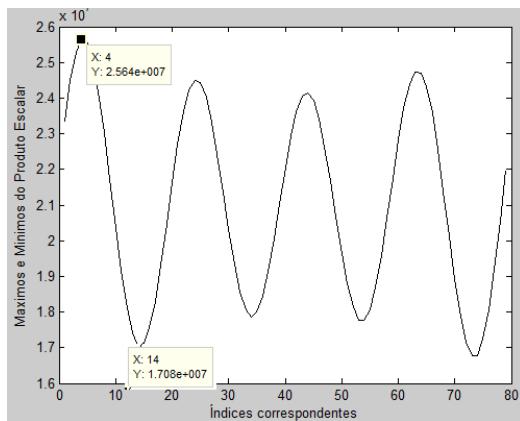


Fig. 4. Representação gráfica do produto escalar entre os vetores de dados1

Podemos assim notar que, para o arquivo dados1:
 pontoMax = 4 (nº de pulsos necessários para colocar o 2º sinal
 em fase com o primeiro)
 pontoMin = 14

O que nos leva a concluir que:

$$\frac{1}{2}T = 14 - 4 = 10 \Rightarrow T = 20 \text{ amostras} \quad (9)$$

$$\text{Defasagem}_{\text{Nº de amostras}} = \frac{4}{20} \Rightarrow \text{Defasagem} = 72^\circ \quad (10)$$

Para o arquivo dados2 obtivemos:

$$\text{Defasagem}_{\text{Nº de amostras}} = \frac{2}{20} \Rightarrow \text{Defasagem} = 36^\circ \quad (11)$$

V. MÉTODO DA TRANSFORMADA DE FOURIER

Ao fazer a transformada de Fourier de um sinal se obtém sua representação no domínio da frequência em módulo e fase.

As linhas mais importantes de um programa que calcula as transformadas de Fourier (usando a fft) de dois sinais podem ser:

```
Tamost = (t1(2)-t1(1))*1e-6; % tempo entre duas amostras
Famost = 1/Tamost; % frequência de amostragem

% Cálculo da FFT da entrada X
NFFT = 2^nextpow2(length(X));
% nextpow2: Primeira potência de 2 acima do comprimento de X
% 2^nextpow2(length(X)): menor múltiplo de 2 acima de length(X)
% usa-se isto para aumentar a velocidade do cálculo da fft.

% Cálculo da fft propriamente dita
FFTX = fft(X,NFFT)/length(X); % length(X) é um no. Só
mexe na amplitude
```

```
f = Famost/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
% y = linspace(x1,x2,N) returns a row vector with N linearly
% spaced points
% in the interval [x1,x2] incluindo os endpoints
```

```
% Descobrindo a fase correspondente ao maior módulo da
transformada de X
```

```
MaiorModuloAteAgora = 0;
```

```
ModuloMaximo = 0;
```

```
for k1 = 5:length(f)
```

```
    FFTXk1_1 = abs(FFTX(k1-1));
```

```
    FFTXk1 = abs(FFTX(k1));
```

```
    if (FFTXk1 > FFTXk1_1)
```

```
        MaiorModuloAteAgora = FFTXk1;
```

```
        if (MaiorModuloAteAgora >= ModuloMaximo)
```

```
            ModuloMaximo = MaiorModuloAteAgora;
```

```
            fase_de_X = phase(FFTX(k1));
```

```
        end
```

```
    end
```

```
fase_de_X;
```

```
subplot(2,1,1)
```

```
% Plot single-sided magnitude spectrum.
```

```
plot(f,2*abs(FFTX(1:NFFT/2+1)))
```

```
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of X')
```

```
xlabel('Frequency (Hz)')
```

```
ylabel('Amplitude da transformada de X')
```

```
subplot(2,1,2)
```

```
% Plot single-sided phase spectrum.
```

```
plot(f,phase(FFTX(1:NFFT/2+1)))
```

```
title('Single-Sided Phase Spectrum of X')
```

```
xlabel('Frequency (Hz)')
```

```
ylabel('Fase da transformada de X')
```

```
...
```

```
% segue cálculo da transformada do outro sinal
```

```
...
```

```
DefasagemEntreOsSinaisViaFFT_graus = abs(fase_de_X -
fase_de_Y)*180/pi
```

O resultado para o sinal do arquivo dados1 pode ser visto na figura 5:

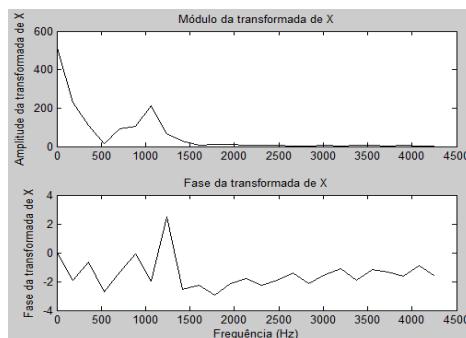


Fig. 5. Módulo e fase da transformada de um sinal

O que o programa faz é descobrir o pico do módulo da transformada (por volta de 1000 Hz) e a fase associada a ele para os dois sinais. Isto, sem incluir a frequência zero, equivale a ter feito o sinal passar por um filtro passa alta antes.

É válido notar que, com esta finalidade, no programa em questão, a variável K1 começa em 5.

Fazendo a diferença entre os dois valores encontra-se a defasagem entre os dois sinais, cujos resultados obtidos são expressos a seguir:

Resultado obtido para o arquivo dados1:

DefasagemEntreOsSinaisViaFFT_graus = 52,66°

Resultado obtido para o arquivo dados2:

DefasagemEntreOsSinaisViaFFT_graus = 24,89°

VI. RESUMO DOS MÉTODOS APRESENTADOS

A tabela I apresenta um comparativo entre os resultados obtidos no cálculo da defasagem entre dois sinais para as duas amostragens utilizadas (dados1 e dados2):

TABELA I
COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Método/arquivo		Dados1	Dados2
Gráfico	Excel	68,57°	34,28°
	Arduino	61,21°	26,13°
	Matlab	52,03°	21,80°
Produto	Arduino	57,70°	20,48°
	Matlab	52,37°	18,84°
Deslocamento	Matlab	72°	36°
Transf.de Fourier	Matlab	52,66°	24,89°

A. Comentários

Os métodos que chamamos de “gráfico” e “deslocamento” são muito sensíveis à frequência e aos momentos de amostragem. O funcionamento contínuo do microcontrolador usando qualquer um dos dois mostra isto claramente. Os resultados ficam oscilando em torno de um valor que intuitivamente seria o mais provável.

Os métodos do produto e da transformada de Fourier, por se basearem em médias das amostras, se mostram mais estáveis. A oscilação dos resultados no caso de um funcionamento contínuo é menor.

As diferenças entre os vários resultados mostra que nenhum deles é confiável do ponto de vista de aplicações práticas. Daí a importância dos métodos digitais que se mostram superiores em termos de desempenho, característica genérica na comparação analógico/digital de qualquer processamento.

VII. CONCLUSÕES

A comparação entre os vários métodos analógicos de cálculo da defasagem entre sinais mostra-se útil na obtenção de informações como a sensibilidade aos momentos de amostragem como comentado na seção anterior.

No entanto, seu maior valor é didático: permitir que qualquer pessoa que comece a estudar o processamento digital de sinais tenha um sentimento físico do que está sendo analisado antes de começar a usar representações através de números complexos que dificultam o entendimento do que está sendo avaliado.

A passagem para a representação exponencial e sua aplicação em algoritmos “clássicos” (Bartlett, Capon, Pisarenko, MUSIC, ESPRIT, etc [5]) será vista em outro artigo a ser apresentado no CBQEE 2015.

REFERÊNCIAS

- [1] R. R. Martins, Antenas e Processamento de Sinais, Rio de Janeiro: UFRJ, 2013, p. 280.
- [2] M. McRoberts, Arduino Básico, Rio de Janeiro: Novatec Editora, 2011.
- [3] R. Muhammed, *Direction of Arrival Estimation using Antennas Arrays*, Virginia, USA: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1996.
- [4] B. F. d. Silva, *Determinação da Direção de Chegada (DOA) de um Sinal Sonoro Usando um Arduino*, Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.
- [5] F. Gross, Smart Antennas for Wireless Communications, New York: McGraw-Hill, pp. 178–197, 2005.

Elaboração de Sistema Traçador de Curvas de Histereses

Jhonatan Wagner Rigo Gonçalves Prof. Me. Leonardo Violim Prof. Dr. Antônio Carlos da Cunha Lemos Migliano

Universidade Bras Cubas - UBC
jhony.eng.eletrica@hotmail.com

Instituto de Aeronáutica – ITA
Violim.ieav@cta.br

Instituto de Estudos Avançados –IEAv
migliano.ieav@cta.br

Resumo—Este artigo discorre sobre a implementação de traçador de curvas de histereses, importante ferramenta laboratorial, atuante significativamente na caracterização de materiais magnéticos, no qual é verificada a interação entre as curvas B e H. Este comportamento é objeto de estudo e fator decisivo fundamental para a seleção do material magnético de acordo com sua aplicação final.

Palavras chaves— Caracterização de Materiais Magnéticos, Curvas de Histereses, Densidade Magnética, Fluxo Magnético.

I. INTRODUÇÃO

Materiais eletromagnéticos são utilizados em filtros de RF, núcleos de transformadores para telecomunicações, sensores, etc., suas aplicações dependem de suas propriedades eletromagnéticas, e o estudo dessas características, possibilita o avanço tecnológico.

Reconhecendo a importância de pesquisas nesta área, e atendendo a demanda dos pesquisadores, foram desenvolvidos equipamentos capazes de caracterizar tais materiais, através de vários métodos. Encontra-se no mercado, equipamentos laboratoriais específicos, classificados como traçadores de curvas de histerese magnética, que atuam na caracterização de materiais magnéticos. Onde através do método de indução magnética são capazes de analisar amostras, indicando entre outros dados, os valores de: indução de saturação (B_s), indução remanente (B_r), campo coercivo (H_c), permeabilidade inicial (μ_i) e permeabilidade máxima (μ_{max}).

Porém o estudo do método torna factível a realização desta caracterização, a partir de um arranjo experimental, aliado a uma rotina computacional, capaz de integrar equipamentos, e realizar o tratamento matemático dos dados obtidos, possibilitando o desenvolvimento de um sistema próprio de Traçador de Curvas de Histerese.

Tendo em vista que a obtenção de dados é algo fundamental em pesquisas que envolvem a caracterização de materiais magnéticos. Deter a técnica, para a implementar um sistema próprio, capaz de traçar curvas de histerese magnética, além de fornecer dados confiáveis, permite ao pesquisador diferentes arranjos e condições experimentais.

II. METODOLOGIA

A caracterização magnética consiste, basicamente, em expor uma amostra do material a um campo magnético H , e medir sua indução magnética B . Existem vários dispositivos e métodos para determinar esta indução; porém, se a amostra estiver sujeita a um campo H variável, um simples enrolamento em torno da amostra é capaz de gerar um sinal elétrico proporcional a dB/dt .

Um TCH consiste de um gerador de corrente variável que conectado enrolamento primário em torno da amostra, gera o campo H . Um integrador eletrônico conectado ao enrolamento secundário gera um sinal proporcional à indução magnética.

A relação entre fluxo magnético Φ e corrente magnetizante i , é observada em sua curva de histerese, essa curva apresentada na figura 1 é um gráfico mostrando a interação entre B e H onde:

$$B = \Phi/A \quad (1)$$

Onde:

B = densidade de fluxo

Φ = fluxo magnético

A = Área da seção reta em (cm^2)

$$H = 0,4\pi Ni/L \quad (2)$$

Onde:

H = força magnetizante

N = número de espiras

i = corrente magnetizante

L = caminho magnético médio

Nessas expressões as unidades estão no sistema CGS sendo necessária as conversões, para utilizar unidades no MKS.

Para compreender melhor a forma de obtenção de dados também na figura 1 são representados alguns pontos de relevância, que quando aplicados em expressões matemáticas originam os valores requeridos.

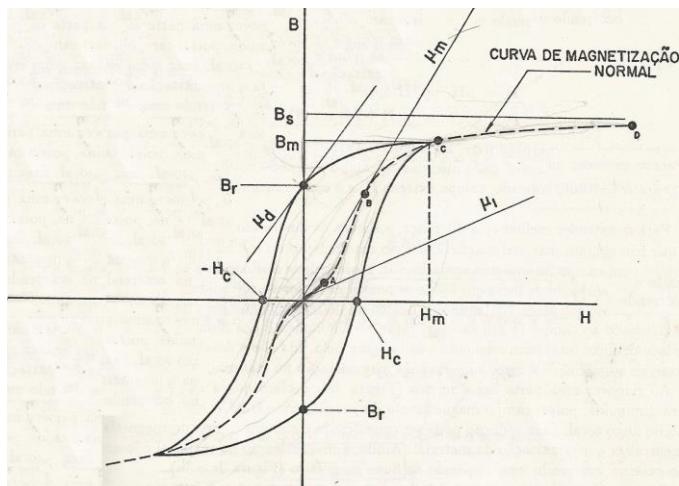


Fig. 1. Uma típica curva de histerese, com pontos de relevância para obtenção de dados.

Através da análise deste gráfico é possível aferir valores de: μ_i = permeabilidade inicial, obtida pela inclinação da base da curva normal B-H (próxima a zero), μ_d = dB/dH , permeabilidade diferencial, obtida em qualquer ponto da curva de permeabilidade, μ_{dc} = permeabilidade estática, obtida pelo quociente B/H em qualquer ponto da curva de magnetização, μ_m = valor máximo de μ_{dc} , μ_{pk} = B_m/H_m , permeabilidade de pico, indução de saturação = B_s , indução remanente = B_r , campo de coerção = $-H_c$, campo magnetizante = H_c , entre outros valores que podem ser obtidos através da relação desta curva e modelos matemáticos.

A interação se dá através de fenômeno físico, pois o campo produzido passa a influenciar a amostra, alterando seu domínio magnético e alterando suas regiões de fronteira, isto fica claro na comparação feita na figura 2, onde é traçado um comparativo entre a exposição da amostra a um campo magnético externo e o seu comportamento físico.

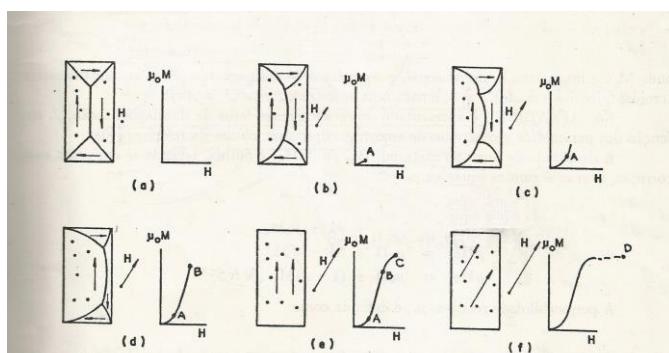


Fig. 2. Comparativo entre exposição da amostra ao campo magnético externo e o comportamento dos domínios magnéticos e regiões de fronteira.

No momento (a) a amostra não sofre nenhuma influencia de campo externo pois o campo externo é igual a zero, já no instante (b), com a presença de um campo externo, ocorre o crescimento dos domínios e os deslocamentos reversíveis das fronteiras, para (c) e (d) para campos mais intensos ocorrem processos irreversíveis de rotação, em (e) ocorrem processos reversíveis de rotação a partir do ponto B, e no instante (f) o

processo de saturação é dominante.

Por tanto é possível obter a medida do ciclo de histerese a partir de considerações físicas. Com este objetivo pode-se realizar procedimento experimental, expondo uma amostra do material a um campo magnético externo produzido, e verificando sua interação com um osciloscópio.

Na figura 3 é demonstrado um dos possíveis arranjos para a obtenção da curva de histerese.

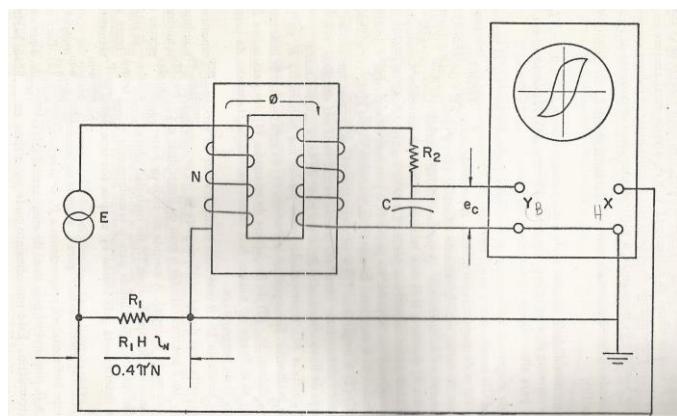


Fig. 3. Esquema elétrico de arranjo experimental para obtenção da curva de histerese magnética.

No esquema elétrico apresentado na figura 3, a queda de tensão em R_1 está ligada ao sinal obtido no eixo horizontal e é proporcional a H , de acordo com a equação (2). Para obter a tensão proporcional a B , responsável pelo sinal do eixo vertical do osciloscópio, é necessário integrar a tensão no secundário. Esse procedimento pode ser melhor entendido a partir da forma integral da lei de Faraday.

O circuito do secundário está provido de um circuito R_2C integrador do sinal. Desta forma, a tensão e_C no capacitor é proporcional ao tempo de integração da corrente $iL = V_2/R_2$ e a intensidade de fluxo é:

$$e_C = 1/C \int iL dT = NA/R_2.C.10^8 = \int dB/dT = NA/R_2.C.10^8.B \quad (3)$$

Esta equação é correta se $R_2 \approx 250\chi_C$ onde χ_C é a reatância do capacitor. Valores típicos desses componentes são: $R_2 = 5M\Omega$, $C = 0,1\mu F$ e $R_1 = 1,0\Omega$.

Sendo as formulas (4) e (5) aplicadas em rotina computacional para a interpolação das curvas B e H em plano cartesiano.

$$B = E.R_2.C/N.A \quad (4)$$

Onde

B = relação de densidade de fluxo com o eixo Y do plano

E = tensão no enrolamento secundário

R_2 = valor do resistor em R_2 no circuito integrador

C = valor do capacitor

N = número de espiras

A = área da secção transversal da amostra (cm^2)

$$H = V.Np/R.L \quad (5)$$

Onde:

H = relação de força magnetizante com o eixo X do plano

V = tensão no enrolamento primário

N_p = número de espiras no primário

R = valor do resistor em R_1

L = comprimento da circunferência ($2\pi r$ para amostra toroidal)

Em uma rotina computacional capaz de, receber os dados captados pelo osciloscópio, processa-los matematicamente a partir das formulas (4) e (5) e plotar os valores em plano cartesiano X,Y será possível visualizar a curva de histerese magnética, para a amostra testada. Alguns ajustes matemáticos podem se tornar necessário, principalmente na região de saturação do material. Com este objetivo podem ser utilizadas séries como a formula (6) e (7).

$$B = K_1 (1 - e^{-K_2 \cdot H}) \quad (6)$$

$$H = a_0 + a_1 \cdot B + \dots + a_n \cdot B^n \quad (7)$$

Nessas expressões, as constantes a_n e K_n são determinadas computacionalmente através de análise por regressão e método dos mínimos quadrados.

Neste momento é fundamental a implementação de rotina computacional, atualmente os equipamentos laboratoriais são equipados com canais de comunicação que permitem o acesso aos dados, essa característica faz com que softwares possam interagir com o equipamento, no caso recebendo informações e em seguida tratando-as matematicamente, além de emitir resultado gráfico em um plano cartesiano de duas dimensões.

Um exemplo deste procedimento, são as portas de comunicação com protocolo GPIB capazes de promover a integração entre vários equipamentos, já o software Agilent VEE apresenta a possibilidade de processamento de dados e integração de programação com várias linguagens como MATLAB.

III. RESULTADOS.

Seguindo o procedimento descrito neste trabalho, em posse de uma amostra toroidal confeccionada e analisada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Enviada ao Instituto de Estudos Avançados - IEAv no ano de 1992. Definiu-se que essa amostra, juntamente com seus resultados, devidamente arquivados, serviria como parâmetro validador comparativo do sistema traçador de curvas de histerese desenvolvido.

As características físicas desta amostra são apresentadas na tabela I, já sua caracterização magnética original aparece em comparação ao resultado obtido na figura 4.

TABELA I
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AMOSTRA

Material do anel	Chapa G194-TI
Diâmetro Externo	50 mm

Diâmetro Interno	40 mm
Espessura Medida	0,96612 mm
Espessura Calculada	1,02725002 mm
Nº de Espiras no Primário	177
Nº de Espiras no Secundário	534

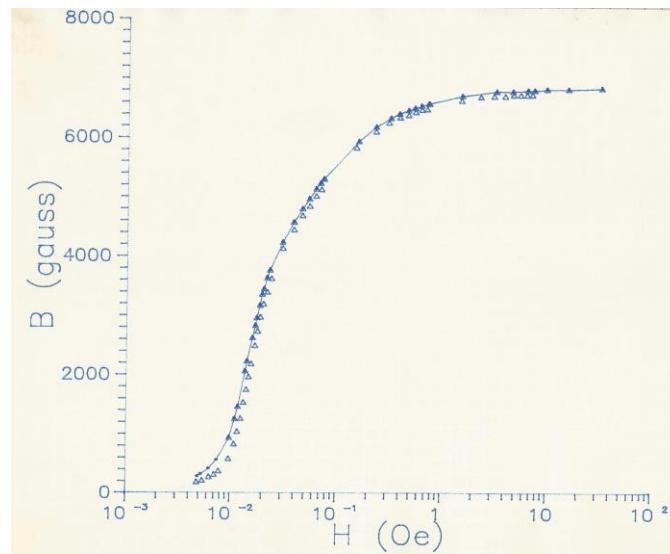


Fig. 4. Comparativo entre os resultados originais da amostra apontados pelo IPT comparados com os resultados obtidos pelo IEAv.

Neste gráfico são comparados os resultados originais da amostra emitido pelo IPT comparados com o resultado obtido pelo traçador de curvas de histerese regido pelo método deste trabalho.

IV. CONCLUSÕES

Tendo em vista o resultado obtido, é válido dizer que o objetivo de elaborar sistema próprio para traçar curvas de histerese magnética foi alcançado pois os valores são bem próximos do valor original emitido.

REFERÊNCIAS

- [1] A.C.C Migliano, "Circuitos magnéticos" (apostila), São José dos Campos, 1990, 75p.
- [2] Ríbas, José Coriolano Lacerda Modelagem do fenômeno da ferroressonância considerando histerese: análise em subestação de energia 2012. 136 pp. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, Paraná.
- [3] Lemos, Leonardo Violim Propriedades eletromagnéticas de amostras poli cristalinas de CoFe2O4 na faixa de RF e micro ondas 2010 Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA São José dos Campos São Paulo.
- [4] Anazawa R. M Caracterização mecânica e micro estrutural de um aço 300M com micro estrutura multifásica 2007 193p Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual Paulista Guaratinguetá.
- [5] Sinnecker P. J Materiais magnéticos doces e materiais ferromagnéticos amorfos 2000 10p Artigo em livro Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro.
- [6] Bertotti G Hysteresis in magnetism for physicists, materials scientists, and engineers 1998 558p academic press istituto elettrotecnico nazionale galileo ferraris, torino Italy.
- [7] Anais do simpósio de ciência e tecnologia do instituto de estudos avançados Vol 1 (agos/2013 – jul 2014) São José dos Campos São Paulo

Usabilidade aplicada a equipamentos eletromédicos

Thais Gaya de Andrade

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thaisa@geb.inatel.br

Marco Túlio Perlato

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
marco-tulio@inatel.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma introdução a Usabilidade aplicada a equipamentos eletromédicos, expondo o conceito, aplicabilidade, importância, técnicas e demais características da mesma.

Palavras-chave—Usabilidade; equipamento eletromédico; Engenharia Biomédica.

I. INTRODUÇÃO

Diariamente profissionais da saúde convivem com equipamentos eletromédicos no ambiente de trabalho: em muitos hospitais todas as informações do paciente, desde o momento da entrada até a alta, são todas informatizadas utilizando diversos equipamentos.

Estes profissionais muitas vezes não possuem conhecimento suficiente para utilizar de maneira correta os equipamentos, pois seria necessário treinamento prévio, o que demanda tempo e vários profissionais envolvidos.

Com este baixo conhecimento e alta complexidade dos equipamentos, há um grande aumento de erros na utilização destes, acarretando muitas vezes em morte do paciente ou perigo ao usuário.

Objetivando a diminuição de probabilidade destes erros de utilização, foram desenvolvidos testes que devem ser realizados durante o desenvolvimento dos equipamentos eletromédicos, chamados de Testes de Usabilidade.

II. EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS

Equipamento eletromédico é um produto utilizado para diagnosticar, tratar ou monitorar uma condição médica, podendo ser utilizado por médicos, enfermeiros, técnicos ou pelo próprio paciente.

III. TESTE DE USABILIDADE

Os testes de usabilidade são utilizados para determinar se um equipamento eletromédico atende a necessidade do usuário de maneira fácil e que não acarrete em perigo durante a utilização, tanto para o paciente quanto para o usuário.

Há várias técnicas de Usabilidade, podendo ser utilizadas sozinhas ou em conjunto, a fim de criar um teste completo e eficaz.

Porém, tão importante quanto determinar como serão empregadas as técnicas, é a escolha do ambiente e dos participantes dos testes.

A. Ambiente dos testes de usabilidade

Os testes podem ser realizados em salas, simuladores, salas de operação ou ainda em laboratórios com ambientes construídos baseados onde o equipamento será utilizado.

Eles podem ainda ser realizados no ambiente real, onde o equipamento será realmente utilizado.

É de grande importância que, tanto no laboratório quanto no ambiente real, as condições de uso durante o teste seja idênticas às reais: luminosidade, ruídos, fluxo de pessoas, etc., pois o participante deve se sentir no ambiente real onde irá utilizar o equipamento. Por exemplo: uma enfermeira enquanto utiliza um equipamento numa enfermaria com todos os leitos ocupados realiza uma análise objetiva de cada paciente para que seu tempo seja utilizado de maneira efetiva. Enquanto ela realiza os procedimentos, há stress, grande fluxo de pessoas e ruídos. Todos esses aspectos influenciam no seu trabalho e, consequentemente, na sua percepção durante a utilização do equipamento.

B. Participantes do teste de usabilidade

Quando se trata de equipamentos eletromédicos, podemos considerar dois tipos de usuários: o profissional da saúde – médicos, enfermeiras, etc. – ou o próprio paciente.

É necessária uma escolha eficaz dos participantes do teste, pois quanto mais próximo do real usuário, melhor será o resultado do teste.

IV. TÉCNICAS DE USABILIDADE

Como já dito anteriormente, há inúmeras técnicas de usabilidade.

Elas foram desenvolvidas de acordo com a complexidade e características dos equipamentos em estudo.

Nenhuma técnica entrega um resultado completo, portanto é necessário o desenvolvimento de um teste englobando diferentes técnicas, criando assim um teste mais completo.

São exemplos de técnicas de Usabilidade: entrevistas, questionários, avaliação heurística, análise de tarefas, método

PCA (Percepção, Cognição e Ação), *Think Aloud*, entre outras.

Basicamente, um teste de usabilidade se baseia em análise de tarefas: descreve todas as ações necessárias para utilizar o equipamento. A partir daí são selecionadas as próximas técnicas a fim de analisar o todo.

V. IMPORTÂNCIA DO TESTE DE USABILIDADE

É possível analisar a importância do teste de usabilidade em dois aspectos: para o fabricante e para o usuário (paciente e profissional da saúde).

Para o fabricante, aplicar o teste de usabilidade é importante, pois ele assegura uma maior confiabilidade do produto para o mercado. Devido ao teste analisar se o equipamento realmente faz o que tem de ser feito de maneira fácil e satisfatória, assegura uma aceitação maior no mercado. Há, portanto, uma diminuição de problemas depois da aquisição, redução de duvidas quanto ao uso e um aumento da satisfação do cliente. Esses aspectos contribuem para a credibilidade do fabricante perante o mercado.

Já para o usuário, a aplicação do teste assegura um equipamento seguro e de fácil utilização.

Perante uma rotina estressante, de tempo escasso nos ambientes de trabalho, a utilização de um equipamento de fácil manuseio e que não demande longos treinamentos é de fundamental importância, pois a funcionalidade operacional dentro das unidades de saúde é considerada uma prioridade, pois reduz consideravelmente as probabilidades de erro humano.

Os testes de usabilidade proporcionam um equipamento eletromédico eficiente e auto didático, feito para o usuário, garantindo assim um equipamento funcional para o usuário.

VI. CONCLUSÕES

A área de estudos da usabilidade aplicada a equipamentos eletromédicos ainda está em expansão e há muito ainda a se aplicar e descobrir.

É necessário, primeiramente, conscientização da importância da usabilidade, tanto de fabricante quanto de estudiosos, para que a área expanda.

É necessário, também, um acesso mais irrestrito de material do assunto, pois o pouco que há no país ainda não foi traduzido, dificultando o entendimento e a aplicação nas condições nacionais.

Um equipamento atestado com base na Usabilidade se torna mais completo e eficaz, aumentando a segurança e aceitação do usuário.

É possível relacionar, também, a Usabilidade à diminuição de erros de operação, os quais podem levar até à morte do paciente.

Portanto, a Usabilidade é um aditivo as tecnologias já existentes com o objetivo de tornar os equipamentos eletromédicos mais intuitivos, de fácil aprendizado e seguros.

REFERÊNCIAS

- [1] B. D. Silva, Avaliação de usabilidade situada para aperfeiçoamento de equipamentos médicos. São Paulo, SP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- [2] A.P.S Silva, R.M.A. Almeida, J.A. Ferreira, A. Gibertoni, V.T. Oliveira, "Human Factors Engineering Applied to Risk Management in the Use of Medical Equipment". São Paulo, SP: Albert Einstein Israelita Hospital, Itajubá, MG: Universidade Federal de Itajubá.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. IEC 60601-1-6. 2011.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. IEC 62366. 2010.
- [5] Wilklund, M.; Kendler, J.; Strochlic, A.Y.; Usability Testing of Medical Devices. USA: CRC Press, 2011.

Estudo da Eletroestimulação Funcional na correção da marcha de pacientes hemiplégicos

Ulisses Augusto Silva Silveira

Instituto Nacional Telecomunicações - INATEL
ulissesaugusto@geb.inatel.br

Yvo Marcelo Chiaradia Masselli

Instituto Nacional Telecomunicações - INATEL
yvo@inatel.br

Resumo — O uso da eletroestimulação funcional (FES) tem se mostrado uma opção bem interessante para auxiliar na caminhada de pessoas com problemas de lesão medular, como "pé caído". Estes pacientes não conseguem realizar o movimento de dorsiflexão do tornozelo durante a caminhada, fazendo com que o "pé caia", podendo causar assim, dificuldade de locomoção, perca de velocidade na caminhada e até quedas. A FES gera uma corrente elétrica de baixa intensidade afim de, fazer com que o paciente consiga uma contração muscular eficaz durante a fase de balanço da marcha. Suas vantagens perante tratamentos convencionalmente prescritos são muito relevantes e seus benefícios vêm desde aumento da velocidade da marcha até aumento da máxima contração do músculo. A pesquisa tem como objetivo o estudo desta prática para analisar seus benefícios e suas principais formas de tratamento.

Palavras-chave – Eletroestimulação funcional, hemiplegia, pé caído, dorsiflexão do tornozelo.

I. INTRODUÇÃO

A Eletroestimulação Funcional (FES) é por conceito, a geração de uma corrente elétrica de baixa intensidade, com o objetivo de gerar contrações em músculos privados de controles nervosos, promovendo uma resposta sincrônica em todas as unidades motoras do músculo, realizando assim uma contração eficaz [1]. Esta vem representando uma alternativa muito promissora para a reabilitação de pacientes hemiplégicos, mais especificamente com o chamado "pé caído".

O "pé caído" é classificado como a falta de movimento de dorsiflexão do tornozelo, que pode ser causado por: Lesão na medula espinhal, consequências de um AVC, esclerose múltipla, paralisia cerebral, trauma craniano, entre outros [2]. Esta lesão motora vem a causar a "queda do pé" durante a ciclo da caminhada, fazendo com que o indivíduo realize movimentos denominados bruscos para compensar sua falta de vigor, reduzindo assim o comprimento do passo, a velocidade da marcha e até implicando na ocorrência de tropeços e quedas [3] [4].

Há cerca de 50 anos, Liberson [5] e sua equipe foram os primeiros a apresentar uma aplicação para a eletroestimulação funcional (FES), utilizado para estimular o nervo fibula comum, durante a fase de balanço da marcha, para gerar uma dorsiflexão do tornozelo em pacientes, tentando corrigir o problema de pé caido.

Nas últimas décadas o desenvolvimento no campo da Eletroestimulação funcional (FES), para a reabilitação de

pacientes hemiplégicos, tem tido um aumento muito importante e vem se tornando um mercado muito promissor. Essa expectativa otimista é consequência dos aperfeiçoamentos constantes na área e avanços tecnológicos gerais. Estes avanços implicam numa maior eficácia no tratamento e criam a esperança torna-lo mais acessível ao público [6]. Este estudo tem como objetivo estudar os principais processos utilizados para a realização da eletroestimulação eficaz, além de seus benefícios e vantagens perante outros tratamentos convencionalmente usados.

II. METODOLOGIA

O estudo foi realizado com base em pesquisa exploratória. Inicialmente fez-se o levantamento bibliográfico por meio de pesquisas de artigos existentes na área, buscando-se analisar equipamentos conhecidos no mercado e projetos específicos para o caso relatado.

III. DESENVOLVIMENTO

O tratamento convencionalmente prescrito por profissionais para pacientes com "pé caído", era a aplicação de uma órtese de tornozelo/pé (AFO). Essa órtese é basicamente um bracelete de polietileno que mantém a posição do tornozelo passivelmente em 90°, impedindo que o "pé caia" durante a caminhada. Mas as AFO têm suas inconveniências. Pacientes apresentam grandes dificuldades para andar, sem assistência, especificamente por conta dos músculos flexores frágeis por conta do desuso. Além de que seu peso e tamanho o tornam desconfortáveis. [4]

Por este motivo, uma alternativa interessante passou a ser o uso da eletroestimulação funcional (FES). Liberson [5] foi o primeiro comprovar a eficácia do uso FES. Juntamente com sua equipe produziu um dispositivo eletro estimulador capaz de corrigir o "pé caído" decorrente de lesão motora. Seu dispositivo consistia na eletroestimulação dos músculos paralisados, gerando assim uma movimentação, que era providente do uso do aparelho. Seu dispositivo era um estimulador neuromuscular que produzia pulsos entre 20 e 250 µs, em uma frequência de 30-100 Hz e amplitudes máxima de corrente de 90 mA. A estimulação era programada através de um interruptor colocado na sola do pé afetado. Quando o pé era levantado o interruptor acionava e gerava uma eletroestimulação através de

eletrodos localizados no nervo fibula comum, ocasionando numa dorsiflexão. Ele notificou que o dispositivo causava efeitos significantes na marcha de pacientes hemiplégicos, e em alguns casos os pacientes adquiriram a sensibilidade contrair o tornozelo voluntariamente por curtos períodos de tempo após o uso.

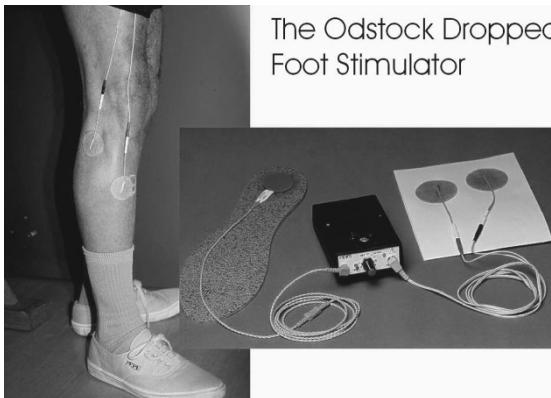


Figura 1 - Eletroestimulador funcional de Liberson

Disponível em: <http://www.salisburyfes.com/dropfoot.htm>

No entanto o método mais comum para a utilização da FES era em ambiente clínico, controlado por médicos e fisioterapeutas, devido sua dificuldade de manuseamento e necessidade de profissionais treinados para a adequação dos parâmetros de estimulação. [6]

Porém uma boa estratégia para trabalhar com o problema foi definida após muitos testes e estudo, esta trabalha com a FES por um processo inteligente. Este processo funciona através da coleta contínua de dados de ângulos na fase de marcha do paciente para comandar uma unidade estimuladora, para contrair grupos de músculos em um padrão que gera e sustenta o movimento da caminhada. A importância de acompanhar a movimentação angular do paciente e trabalhar com o sincronismo do pulso e velocidade de cada usuário deve ser levada em conta para o melhor tratamento do paciente e para que o paciente consiga realizar o tratamento de forma independente, em sua própria casa. [6]

IV. NOVAS OPÇÕES DE TRATAMENTO

A. Walkayde FES System

Baseado nos padrões previamente apresentados foi desenvolvido o Walkayde FES System que é uma alternativa inovadora para o problema. Projetado especificamente para fornecer estimulação elétrica confortável e eficaz para o nervo fibula comum gerando uma dorsiflexão do tornozelo durante a caminhada [7].

Este consiste em basicamente em uma unidade estimuladora, presa a uma braçadeira que se encaixa logo abaixo do joelho. Dois eletrodos são presos da parte de dentro da braçadeira por um velcro. A braçadeira foi moldada justamente para facilitar a colocação dos eletrodos em cima do nervo fibula comum (catodo) e do músculo tibial anterior (anodo) [4-8].

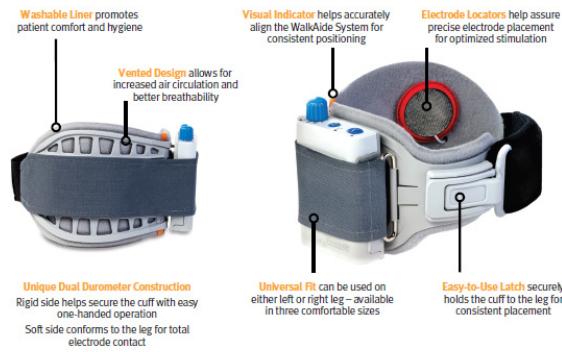


Figura 2 - Walkayde FES System

Disponível em:

<http://www.walkaide.com/patients/Pages/HowWalkAideWorks.aspx>

O dispositivo capta a posição e velocidade da perna na fase de balanço da marcha com acelerômetros e inclinômetros para disparar o estímulo. O pulso é gerado por dois eletrodos adesivos que transmitem uma corrente elétrica. O Walkaide gera pulsos de baixa intensidade de corrente, de duração e amplitudes suficientes para gerar potenciais de ação aos nervos periféricos, que são conduzidos a partir dos eletrodos para o nervo fibula comum, sobre a cabeça da fibula [9].

Inicialmente, os pacientes caminham juntamente com um profissional que irá pressionar um botão disparando o impulso, logo após o pé ser tirado do chão e soltando-o quando o paciente recoloca-lo no chão. Um software gráfico (Walk Analyst) irá interagir com a marcha devido aos sensores do dispositivo e gerará vários parâmetros para serem ajustados. Os parâmetros incluem mínimos e máximos períodos de estimulação, como o tempo após um período de estimulação até o próximo período começar. Os parâmetros para começar a estimulação usando os sensores são ajustados para incidirem com os analisados pelos fisioterapeutas. Então os pacientes andarão utilizando somente o disparo pelos sensores. O processo pode ser repetido até fisioterapeuta e paciente estarem satisfeitos, ou seja, até atingir um estímulo eficaz. Após esse procedimento o paciente pode assim utilizar o aparelho em seus ambientes habituais, como em sua própria residência, já que este irá [4].

B. OpenFes:

Existe também em prática uma plataforma livre para a eletroestimulação funcional chamada OpenFes, esta é uma comunidade com a intenção de criar um projeto de baixo custo e alta qualidade para exercícios de membros superiores e inferiores. O projeto foi desenvolvido para trabalhar com pacientes com algum tipo de lesão de forma que tenham os músculos da perna fracos utilizando o movimento em uma bicicleta adaptada. Este não é explicitamente um aparelho que visa a solução do pé caído, pois durante a pedalada o tornozelo do paciente fica preso, evitando assim lesões e melhorando o seu desempenho.



Figura 3 - OpenFES Protótipo

Disponível em: <https://code.google.com/p/openfes/>

Um software juntamente com análise de ângulos da manivela é utilizado para criar um padrão de movimento, a fim de ocorrer a eletroestimulação, permitindo assim que o movimento de "pedalar" seja realizado mesmo que o usuário não consiga ter um movimento controlado dos músculos.

O diagrama de blocos a seguir foi retirado do programa e fornece o esquema básico de funcionamento do projeto. Este começa com uma coleta de dados do ângulo da manivela do paciente, usando um codificador de quadratura 2 fios com Z-index conectado para interromper linhas em um computador embutido em placa única BeagleBoard (SBC). Quando o processador ARM11 no Beagle detecta uma subida ou descida em uma das linhas de interrupção (a mudança de ângulo de manivela), ele chama funções no C64x Cortex processador de sinal digital de escravos para calcular o ângulo de manivela e RPM (rotações por minuto), e, em seguida, com base nesse ângulo da manivela e o número RPM, determina qual canal deve disparar para estimular o grupo muscular necessário e, a amplitude do impulso , e também o tamanho do pulso.

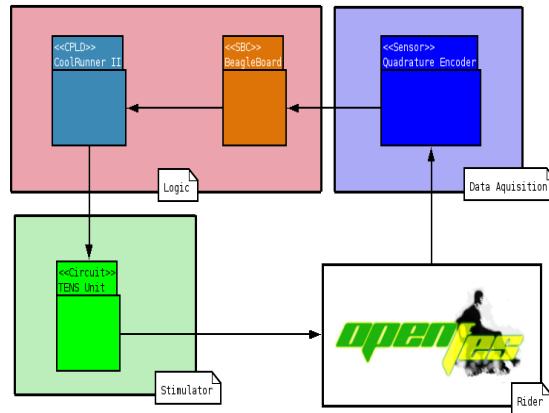


Figura 4 - Diagrama de blocos

Disponível em:

<https://code.google.com/p/openfes/wiki/FunctionalDescription>

O objetivo da prática é a prevenção de atrofia muscular, aumento da circulação sanguínea, diminuição de espasticidade muscular, aumentar a amplitude do movimento e função pulmonar. [10]

V. CONCLUSÃO

Levando em consideração os aspectos mencionados ao longo do estudo, nota-se uma ampla vantagem na utilização da Eletroestimulação funcional para o tratamento de pacientes com o "pé caído" perante outras técnicas. Esta apresenta uma praticidade relevante para os pacientes e inúmeros benefícios comprovados. Dentre estes benefícios, estão: o aumento da máxima contração voluntária, geração de potenciais motores na perna estimulada, aumento da força e massa muscular no local - sendo que a eletroestimulação funcional também é usada por motivos estéticos - aumento da velocidade durante a caminhada e foi visualizado em estudos que estas melhorias são identificadas mesmo em períodos onde o aparelho não está sendo utilizado, o que influi que com progresso do tratamento pacientes podem recuperar parcialmente condição motora, tentando assim reestabelecer seu padrão normal de marcha. Porém um agravante a prática é o seu alto valor, que perante aos tratamentos mais convencionais como as órteses ele apresenta um valor bem superior. Por esses motivos é necessário continuar as pesquisas na área, afim de apresentar soluções mais acessíveis para o problema para que todos tenham condições de usufruir de suas vantagens.

REFERÊNCIAS

- [1] Santana JM, Santana VJF, Cândido EA, Freire. Eletroestimulação funcional no controle da espasticidade em pacientes Hemipareíticos. Data não fornecida.
- [2] Lyons GM, Sinkjaer T, Burridge JH, Wilcox DJ. A review of portable FES-based neural orthoses for the correction of drop foot. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2002;10:260-79.
- [3] VAUGHAN, C. L., DAVIS, B. L. and O'CONNOR, J. C. "Dynamics of human gait", Human Kinetics Publishers. Inclui software "GaitLab", 1992.
- [4] Stein RB, Chong SL, Everaert DG, A multicenter trial of a footdrop stimulator controlled by a tilt sensor. 2006.
- [5] Liberson WT, Holmquest HJ, Scott D, Dow M. Functional electrotherapy, stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med*. 1961.
- [6] A. KRALJ, R. ČIMOVIĆ and U. STANIĆ. Enhancement of hemiplegic patient rehabilitation by means of functional electrical stimulation. *Prosthetics and Orthotics International*, 1993,17, 107-114

[7] DL Damiano et al: Effectiveness of a novel functional electrical stimulation device to improve unilateral footdrop in cerebral palsy. Functional and Applied Biomechanics Section, Rehabilitation Medicine Department, National Institutes of Health Clinical Center, Bethesda, MD, USA

[8] Dirk G. Everaert, Aiko K. Thompson, Su Ling Chong and Richard B. Stein: Does Functional Electrical Stimulation for Foot Drop Strengthen Corticospinal Connections? Neurorehabilitation and Neural Repair. 2009

[9] Michelle H Cameron: The WalkAide® Functional Electrical Stimulation System – A Novel Therapeutic Approach For Foot Drop in Central Nervous System Disorders. EUROPEAN NEUROLOGICAL REVIEW

[10]. Blanford, Matt . Openfes. Disponível em: <https://code.google.com/p/openfes/>

Avaliação da interferência do esmalte de unha na oximetria de pulso

Andressa Magalhães Fernandes

Marco Túlio Perlato

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
andressamagalhaes@geb.inatel.brInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
marco-tulio@inatel.br

Resumo—Este artigo apresenta um estudo sobre a interferência dos esmaltes de unha das cores verde, amarela, azul e vermelha nos valores de saturação medidos pelo oxímetro de pulso. Foi observado que para as cores verde e vermelha, 100% dos indivíduos testados apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte. Também foi observado que para a cor azul, 12,5% dos indivíduos testados apresentou uma variação de 8% do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte dentre outros.

Palavras-chave— Esmalte de unha, Oximetria de pulso, Saturação de oxigênio.

I. INTRODUÇÃO

O oxímetro de pulso é um equipamento utilizado para medir a saturação periférica de oxigênio pela hemoglobina no sangue arterial (SpO2). A maioria desses dispositivos também mostra a frequência cardíaca em batimentos por minuto. Sua composição básica é formada por um console, que é o equipamento propriamente dito e um sensor. [1] [2]

A oximetria de pulso é feita através de sensor óptico e não envolve nenhum processo cirúrgico. É um método seguro e indolor que possibilita o monitoramento contínuo dos pacientes. Além disso, possui vantagens que se sobressaem comparado a outros exames não-invasivos, os quais são o baixo custo somado ao fato de não necessitar de pessoal especializado.[3]

A hipóxia (escassez de oxigênio no organismo) em estados extremos por apenas alguns minutos, pode ser fatal. A principal finalidade da verificação da SpO2 é a detecção desse quadro antes mesmo que haja sintomas físicos como cianose, taquicardia ou bradicardia, por exemplo[1][2][4]. Essa aplicação é demandada em vários setores das instituições de saúde e suas unidades móveis ou até mesmo no cuidado domiciliar. [4]

Existem diversos fatores que podem causar viés na oximetria de pulso, dentre eles está a coloração dos esmaltes de unha. A interferência pode causar uma alteração de 3% a 5% no valor da SpO2 aferido pelo equipamento.

Na prática hospitalar, em diversas situações, como em casos emergenciais, o esmalte de unha não é retirado do paciente. Existem poucos estudos com embasamento prático e científico acerca do efeito que pode gerar na leitura feita pelo oxímetro de pulso e ao mesmo tempo, uma infinidade de marcas e cores as quais podem ser testadas.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é estudar a interferência do esmalte de unha na oximetria de pulso valendo-se de determinadas cores que são bastante utilizadas atualmente. [5] [6]

II. PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA OXIMETRIA

Os princípios base da oximetria de pulso são a espectrofotometria e a plethysmografia. A hemoglobina saturada (oxihemoglobina) difere da reduzida (desoxihemoglobina) na absorção de luz, também essa diferença é observada com a variação do volume de sangue nos tecidos.

O sensor de oxímetro possui de um lado LEDs (Diodo emissor de luz) que emitem luz vermelha e infravermelha nos comprimentos de onda aproximados de 660nm e 990nm e no lado oposto, um fotoreceptor. Com a pulsação, o sangue arterial entra nos tecidos alternando as características de absorção e reflexão da luz que é transmitida constantemente através da pele. O oxímetro mede as mudanças de absorção de luz durante o ciclo pulsátil.

A luz captada pelo fotoreceptor é convertida em sinais elétricos e esses são enviados à unidade de processamento do oxímetro, composta de circuitos digitais e um microprocessador. [3]



Fig.1 – Oxímetro de Pulso

III. METODOLOGIA

Foram estudados, 8 voluntários com idade de 20 a 25 anos, pertencentes ao corpo discente do curso de graduação em Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel). Todos os voluntários foram informados sobre a finalidade dos testes e após assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, cada participante informou a idade e as iniciais do nome em um documento antes do início da coleta dos dados.

Os voluntários foram acomodados em cadeiras no laboratório da disciplina de Equipamentos, passaram os esmaltes da marca Colorama, um em cada dedo da mão esquerda, ficando o último dedo, o dedo mínimo, sem esmalte. As cores escolhidas são tendências fortes atualmente, foram elas na sequência: verde, amarelo, azul e vermelho.

Após a secagem do esmalte em um tempo mínimo de dez minutos para não danificar os sensores, foi feita a coleta dos valores da SpO2 de cada voluntário em todos os dedos da mão esquerda. O oxímetro utilizado foi da marca Morry, modelo m1000.

Foi comparado a SpO2 medida em cada dedo com coloração em relação a saturação medida no dedo mínimo. E foi feito o cálculo em porcentagem relacionada ao número de indivíduos, as variações que cada coloração apresentou.



Fig.2 - Oxímetro de pulso utilizado nos testes

IV. RESULTADOS

Esmalte cor Verde: 100% dos indivíduos apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte. 37,5% dos indivíduos apresentou diferença de 1% na SpO2; 25% apresentou diferença de 2% e em 37,5% dos indivíduos não foi possível detectar o valor da SpO2.

Esmalte cor Amarela: 50% dos indivíduos apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte. 25% dos indivíduos apresentou diferença de 1% na SpO2; 12,5% apresentou diferença de 3% e em 12,5% dos indivíduos não foi possível detectar o valor da SpO2.

50% dos indivíduos não apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte.

Esmalte cor Azul: 87,5% dos indivíduos apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte. 12,5% dos indivíduos apresentou diferença de 4% na SpO2; 12,5% apresentou diferença de 2%; 12,5% apresentou diferença de 8%; 37,5% apresentou diferença de 2% e em 12,5% não foi detectado o valor da SpO2.

12,5% dos indivíduos não apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte.

Esmalte cor Vermelha: 100% dos indivíduos apresentou variação do valor da SpO2 em relação ao referencial sem esmalte. 62,5% dos indivíduos apresentou diferença de 1% na SpO2; 25% apresentou diferença de 3% e em 12,5% dos indivíduos não foi possível detectar o valor da SpO2.

V. CONCLUSÕES

Fica claro que a variação de valores é suficiente para que mais pesquisas sejam feitas a fim de regulamentar a prática clínica no uso do oxímetro de pulso.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Knobel E. Condutas no paciente grave. 2^a ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1995:293-5.
- [2] Woodrow P. Pulse oximetry. Nursing Standard 1999;13:42-6.
- [3] Carlson KA, Jahr JS. A historical overview and update on pulse oximetry. Anesthesiol Rev 1993;20:173-81
- [4] Sinex JE. Pulse oximetry: principles and limitations. Am J Emerg Med 1999;17:59-66. [Links]
- [5] Ralston AC, Webb RK, Runciman WB. Potential errors in pulse oximetry. III: Effects of interferences, dyes, dyshaemoglobins and other pigments. Anaesthesia 1991;46:291-5. [Links]
- [6] Coté CJ, Goldstein EA, Fuchsman WH, Hoaglin DC. The effect of nail polish on pulse oximetry. Anesth Analg 1988;67:683-6.

Dispositivo vestível no tratamento com acupuntura eletrônica em pacientes com lesão medular

Julia Volpato, Lua Clara Camargo Magalhães e
Andressa Ferreira de Oliveira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
volpato.julia@gmail.com, luaccm@geb.inatel.br
e andressa_ferreira@geb.inatel.br

Crishna Irion

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
crishna@inatel.br

Resumo— A proposta dessa pesquisa é desenvolver um estudo e aplicá-lo em um dispositivo vestível que apoie o tratamento terapêutico ao paciente, usando a acupuntura eletrônica para apoio à melhoria da qualidade de vida de pacientes com lesão medular. Este artigo tem por objetivo apresentar o estudo sobre a utilização de um dispositivo vestível, sua modelagem e aplicação no tratamento terapêutico de acupuntura eletrônica em pacientes com lesão medular (paraplégicos).

Palavras-chave—wearables, eletroacupuntura, lesão medular.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, existe no mercado uma grande variedade de roupas combinadas com equipamentos eletrônicos. Esse tipo de aplicação, a junção de aparato computacional à vestimenta do cotidiano, é chamada de Computação Vestível (Wearable Computing).

Os *Wearables* são uma alternativa de novas tendências os cuidados de saúde, os quais tendem como objetivo monitorar em tempo real parâmetros fisiológicos discretos do paciente através de sensores, que podem ser intra ou extra corpóreos. Podem, ainda, ser utilizados como ferramentas de apoio terapêutico, como no caso deste estudo, que procura aliar o conceito de eletroacupuntura e *Wearables*, para o uso em pacientes.

O paciente com lesão medular sobrecarrega excessivamente os membros superiores, especialmente os ombros, utilizando-os mais frequentemente e em maior variabilidade de atividades que uma pessoa sem a lesão.

A proposta dessa pesquisa é desenvolver a modelagem de um dispositivo vestível, com sistema de sensores para detecção e aplicação pulsátil de pontos de acupuntura eletrônica para tratamento de pacientes com deficiência motora.

O trabalho busca apoiar o tratamento terapêutico, buscando a melhoria da qualidade de vida de pacientes com lesão medular.

II. WEARABLES E A ELETROACUPUNTURA

O monitoramento da saúde humana é proposto dentro de um novo paradigma, sendo que o foco principal é o sistema de saúde centrado no indivíduo, fazendo com que a prestação de serviços e a informação em saúde estejam disponíveis onde o indivíduo estiver.

Em relação ao indivíduo, o monitoramento acontece à distância e a tomada de decisão pode antecipar o plano de tratamento do paciente dependendo da situação em que se encontre.

O ponto principal do monitoramento é uma aproximação pragmática a vários cenários clínicos, hospitalares e móveis, sendo que o indivíduo pode estar em casa dormindo, passeando pelas ruas ou até mesmo em seu local de trabalho.

Desta forma é possível monitorar qualquer pessoa em qualquer lugar desde que se possa interligar, através da rede em fio, seus dispositivos. [1]

Os *Wearables* são dispositivos em que é possível adicionar elementos de monitoração ou aplicação de tecnologias terapêuticas em quem o estiver usando.

A. Wearables – Dispositivos vestíveis

Dispositivos vestíveis, com função de monitoramento podem capturar continuamente dados, organizá-los em modelos de pacientes e condições personalizadas, e comunicar informações exclusivas de cada paciente para os primeiros-socorros e funcionários do hospital. [2]

B. Acupuntura eletrônica

A acupuntura eletrônica é uma técnica de utilização de pulsos eletrônicos de curta duração que simulam a cura natural do corpo, sem a utilização de agulhas, em vários pontos de pressão (chamados pontos de acupuntura), em que um eletrodo de contato é usado para gerar pulsos que são transmitidos através da pele.

C. Pontos para tratamento de dores na acupuntura

O ponto VB-32 da acupuntura fica na parte posterior da coxa, acima do joelho. É chamado de Zhongdu na medicina tradicional chinesa. Este ponto é usado para tratar dores lombares.

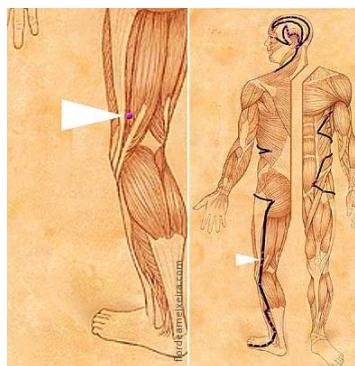


Fig. 1. Ponto VB-32 da acupuntura.

O ponto de acupuntura, acuponto, é definido como um ponto da pele com sensibilidade espontânea ao estímulo, caracterizado por uma resistência elétrica reduzida [3]

O ponto Zusanli (E-36) é o acuponto que atua estimulando o nervo cutâneo lateral da sura, nervo responsável pelo suprimento sensorial do tendão calcanear comum, causando, com isso, estímulo na atividade motora.



Fig. 3. Ponto Zusanli (E-36)

A eletroacupuntura de baixa freqüência e a de alta, quando realizada no ponto Zusanli (E36) minutos antes da indução da anestesia em mulheres anestesiadas e submetidas a determinada cirurgia reduziram o requerimento de analgésicos no pós-operatório. [4]

O estímulo de alta freqüência promoveu melhores resultados e a eletroacupuntura diminuiu a incidência de efeitos adversos da morfina no pós-cirúrgico.

D. Modelagem do protótipo

Este estudo, após revisão de literatura sobre as tecnologias, buscou desenvolver um modelo de protótipo para a aplicação

de eletroacupuntura em um *Wearable*, para apoio ao tratamento terapêutico de pacientes com lesões motoras.

O protótipo deverá ser composto por uma joelheira com abertura que possibilite movimentos livres da perna.

Acoplado a joelheira ficará um circuito gerador de pulsos que será feito em forma reduzida juntamente com uma bateria de 9 volts que o alimentará, essa bateria é pequena e gera baixa corrente.

Será um dispositivo leve e confortável, sendo essencial para o bem estar do paciente.



Fig. 3. Esquema do protótipo

Será possível, com o uso do dispositivo vestível, aplicar diretamente no ponto Zusanli (E-36) pulsos elétricos que configurem a acupuntura eletrônica, buscando resultados que estimulem os efeitos analgésicos que esta técnica proporciona.

III. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido teve como proposta desenvolver um estudo sobre dispositivos vestíveis, de forma a entender sua possibilidade de monitoração de paciente e, também, da aplicação da eletroacupuntura.

Foi possível, com a pesquisa, desenvolver a modelagem de um dispositivo vestível, com sistema de sensores para detecção e aplicação pulsátil de pontos de acupuntura eletrônica para tratamento de pacientes com deficiência motora.

REFERÊNCIAS

- [1] JÚNIOR, I. G. S. Arquitetura para desenvolvimento de aplicações de rede de sensores para monitoramento da saúde Humana. Abril/2009. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Faculdade de tecnologia - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2009.
- [2] BOURBAKIS, N. G.; PANTELOPOULOS, A. Prognosis—A Wearable Health-Monitoring System for People at Risk: Methodology and Modeling. IEEE Transactions of Information Technology in Biomedicine, v. 14, n. 3, p. 613-621, Maio. 2010.
- [3] DRAEHMPAEHL, D., ZOHMANN, A. Acupuntura na cão e no gato: princípios básicos e prática científica. São Paulo: Roca, 1997. 245p.
- [4] LIN, J. G., LO, M. W., WEN, Y. R., HSIEH, C. L., TSAI, S. K., SUN, W. Z. The effect of high and low frequency electroacupuncture in pain after lower abdominal surgery. Pain, Amsterdã, v. 99, n. 6, p. 509–514, 2002.

Pulse - Sistema de Circulação

Mário Henrique Carvalho de Oliveira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mariohenrique@geb.inatel.br

Laura Costa Capistrano Cunha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lauracosta@geb.inatel.br

Resumo - Em um ciclo cardíaco normal, o sangue é bombeado pelo ventrículo esquerdo exercendo pressão pulsátil sob a parede arterial. Os equipamentos de circulação extracorpórea existentes não realizam essa tarefa, ocasionando lenta recuperação, além de problemas neurológicos, pulmonares e necroses.

I. INTRODUÇÃO

Com propósito de transformar o conceito das cirurgias cardíacas, tornando-as mais seguras, o projeto traz uma série de inovações, além de reduzir o tempo de recuperação pós-cirúrgica em até 30%.

Desde a Segunda Guerra Mundial o paciente que necessita de uma cirurgia cardíaca sofre com volumoso número de sequelas, efêmeras ou não. Quando realizada pela primeira vez uma cirurgia cardíaca, representou uma conquista comparável à chegada do homem à Lua. No entanto, ainda com a cirurgia minimamente invasiva, a qual é pouco realizada no Brasil, o tempo de recuperação desse procedimento é lento e pode chegar a 60 dias [3]. Vale mencionar a existência de um percentual relevante de problemas diversos posteriores a tal método cirúrgico, ocasionados pelo tempo de internação e periculosidade das técnicas utilizadas.

Diante das observações do médico cirurgião cardiologista Dr. Elias Kallás, o projeto caracteriza o primeiro equipamento mecânico capaz de transformar o fluxo contínuo oferecido pela bomba de roletes de uma máquina de circulação extracorpórea comum em um fluxo pulsátil. Essa peculiaridade, assim como a central de monitoramento do sistema, reduz o tempo de recuperação do paciente em até 30%.

Se inovar significa renovar um método, ideia ou objeto, o sistema inova ao aprimorar o método das cirurgias cardíacas, recria a ideia de recuperação pós cirúrgica e faz da tecnologia, a novidade mais clássica e válida para a saúde.

II. PROBLEMA

Doença das artérias coronárias, ataque cardíaco, angina, arritmias, dentre outras são algumas das doenças as quais vêm se tornando familiares à modernidade. Seja por condições patológicas, fatores hereditários e - recentemente - como consequência do estilo de vida, cerca de 40% da população já sofre de doenças cardíacas. Diante desse quadro, em níveis mais extremos, talvez não haja alternativa a não ser o

transplante. Nesses e em outros casos, quando a substituição de uma válvula (semilunar, mitral ou tricúspide) é necessária, deve-se fazer o coração parar de bater (cardioplegia) e desviar a circulação, para que, durante a cirurgia, o sangue não extravase. Esse tipo de processo, o qual utiliza a circulação extracorpórea é utilizado em mais de 80% das cirurgias cardíacas.

Vinculado às possibilidades oriundas desse recurso cirúrgico, novas atribuições se tornaram evidentes: a manutenção da integridade do paciente durante e após a operação caracterizam um fator crítico para a realização do procedimento.

A prevalência de complicações em cirurgias cardíacas circunda os 55%, em questões que vão desde hemorragia a problemas pulmonares e neurológicos.

Os equipamentos de circulação extracorpórea existentes não realizam pressão na parede das artérias, impedindo que o sangue chegue às extremidades do corpo. A recuperação do paciente, nessas condições, se dá com suplício e lentidão. Mesmo com a cirurgia minimamente invasiva, a qual é pouco realizada no Brasil há riscos ocasionados pelo tempo de internação (a infecção hospitalar, como por exemplo) e periculosidade das técnicas utilizadas. Reduzir tal tempo pós-operatório significa não somente ampliar as chances de sucesso do procedimento, mas também aliviar os superlotados hospitais brasileiros.

III. DESENVOLVIMENTO

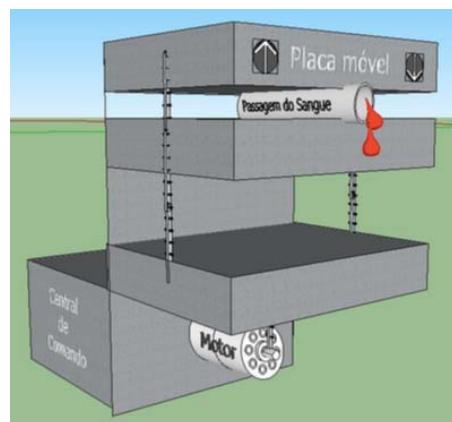


Fig. 1. Válvula mecânica.

Na busca por soluções pragmáticas e de baixo custo, surge o apoio do médico cirurgião cardiologista Dr. Elias Kallás, que em seus quase 60 anos de profissão (Ver biografia em <http://buscatalvisualizacv.br/buscatextual/visualizacv.do?metod>

o=apresentar&id=K4791644Z6), observou tais deficiências metodológicas e apontou para a primeira das soluções. Essa consiste na construção de um aparelho mecânico a ser implementado, após a bomba de rolete de uma máquina de circulação extracorpórea, o qual permita um fluxo sanguíneo pulsátil – e não constante como todas as máquinas atuais. Os benefícios de tal aparelho mecânico, eletricamente microcontrolado, são incalculáveis. Ele permite que o sangue chegue às extremidades do corpo, eliminando ou atenuando os efeitos da má circulação sanguínea.

Uma vez conhecida a solução teórica, sua construção prática não deixa de ser uma incógnita. A parceria com a empresa Usivale – corte a laser e usinagem industrial permitiu o desenho otimizado do sistema, bem como sua edificação mecânica.

Todavia, não é possível validar o trabalho sem que esse atenda as normas e requisitos de segurança. Sensores de verificação do sistema devem ser precisos e calibrados. Para tal tarefa, o desenvolvimento de um sistema de central microcontrolado foi possível juntamente do apoio técnico das instituições INATEL – Instituto Nacional de Telecomunicações e da Escola Técnica de eletrônica “Francisco Moreira da Costa” – ETE “FMC”.

Por fim, garante-se que o aparelho é capaz de amparar cirurgias cardíacas, nas quais o coração é impossibilitado de realizar seu funcionamento normal. Em uma máquina de circulação extracorpórea comum, o sangue, normalmente bombeado para um ponto do sistema circulatório do paciente, percorre determinada artéria. Ele é distribuído a todos os órgãos. Uma bomba de rolete é utilizada para impulsionar o sangue, muito embora o fluxo permaneça contínuo. Proporciona o fluxo pulsátil em um manguito de silicone, o qual passa pela bomba de rolete. Ele usa de uma válvula mecânica (Fig. 1), controlada por uma central elétrica, a qual permite ou estrangula a passagem do sangue na frequência de pulsação requerida pelo médico no teclado do sistema. O sistema tem como características principais, permitir a escolha da frequência de batimento cardíaca ideal para o paciente; monitorar a pressão sanguínea no manguito de silicone; monitorar a temperatura sanguínea após a válvula; monitora o tempo de execução da cirurgia; detectar automaticamente defeitos no posicionamento da válvula e da bomba de rolete; detectar a presença de coágulos sanguíneos; sinalizar, situações indesejáveis; reduzir o tempo de recuperação pós-cirúrgica em até 30%.

V.RESULTADOS

Com a inserção de uma válvula mecânica posterior à bomba de roletes, o fluxo tornou-se pulsátil, diferentemente de todos os aparelhos capazes de gerar apenas um fluxo contínuo. Tal inovação revelou, em testes laboratoriais, melhora hemodinâmica em relação aos aparelhos tradicionais.

Os resultados de possíveis pressões obtidas a partir de velocidades são compatíveis aos valores de pressão arterial e podem ser conferidos na Tabela I.

Foi feito teste de velocidade a partir do ponto inferior do rolete (0°), a $+20^\circ$ e -20° (Fig. 2); o rolete foi movimentado

até a solução apresentar uma coluna de 1000 mm no tubo; um manômetro com diafragma foi instalado na saída da bomba; a pressão foi anotada periodicamente a intervalos de 10 em 10 segundos.

Para a garantia do fluxo pulsátil gerado, foi aplicado um sinal na frequência do ultrassom com amplitude de 5 V a partir do sensor HC-SR04 e medida a intensidade do sinal de retorno. As medidas de tensão foram amostradas em intervalos de 10 ms para uma pulsação de 60 batimentos por minuto.

TABELA I
MEDIDAS DE PRESSÃO SISTEMA PULSE.

MEDIDAS	PRESSÃO [mmHg]
1ª Sistole	120
1ª Diástole	70
2ª Sistole	100
2ª Diástole	60
3ª Sistole	130
3ª Diástole	85
4ª Sistole	90
4ª Diástole	50
5ª Sistole	100
5ª Diástole	50
6ª Sistole	120
6ª Diástole	83

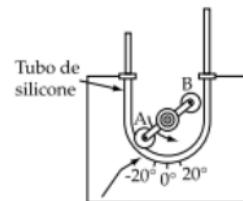


Fig. 2. Bomba de Roletes.

Os valores de tensão obtidos para as medições sobre a solução são descritos na tabela a seguir (Tabela 2), para uma tensão aplicada de 5 V.

Os valores de tensão obtidos em todos os testes apresentam variância de aproximadamente 0,1 V para o fluxo contínuo e 1,5 V para o fluxo pulsátil, o que confirma a palpação do sangue após a válvula Pulse.

TABELA II
TESTE DO SISTEMA PULSATIVO.

FLUXO	TENSÃO [V]
1- Contínuo	3,88
2- Pulsátil	3,81
3- Contínuo	3,89
4- Pulsátil	2,53
5- Contínuo	3,95
6- Pulsátil	2,38
7- Contínuo	3,93
8- Pulsátil	2,97

VI. DIFICULDADES

Inúmeros obstáculos foram encontrados durante a confecção do protótipo final. Aqueles que exigiram maior dedicação para solução são abaixo descritos.

A. Construção da válvula mecânica

Duas versões de válvula foram construídas para que o sistema funcionasse corretamente. A primeira delas não apresentou a angulação necessária para a curvatura do manguito de silicone.

B. Potência do motor

Os manguitos de silicone, utilizados em procedimentos cirúrgicos para fluxo sanguíneo, apresentam determinada resistência à pressão do rolete. O motor usado era incapaz de

provocar tal pressão. Houve tentativa de substituição do manguito, porém essa não foi possível por carência de produtos no mercado, a solução foi a troca por um motor AC, alimentado por 220 Vac.

C. Ajuste de pressão

O ajuste de pressão só foi possível após cálculos matemáticos, porém variações no líquido alteravam o valor da pressão. Essa somente se tornou correta após a fixação de uma solução fisiológica de NaCl 0,9% para simulações iniciais.

D. Ajuste de velocidade

A velocidade da bomba de roletes variava com as variações da rede. Para garantir a estabilidade de tensão, um potenciômetro regulador foi acrescentado ao motor.

E. Desenvolvimento do código para o sistema de controle

A criação do código para o sistema de controle da válvula de pressão foi de extrema dificuldade, já que diversos testes foram necessários para a definição do tempo ideal de abertura e fechamento da válvula. Essa atividade deve ser programada para tempos ínfimos, de acordo com a frequência de batimentos estipulada pelo médico.

REFERÊNCIAS

1. Cirurgia de revascularização miocárdica sem circulação extracorpórea: uma técnica em busca de evidências. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0066-782X2003000600011&script=sci_arttext
2. Dicas Circulação Extracorpórea. Disponível: http://www.scivesp.org.br/area_livre/dicas_circulacao_extracorporea.asp
3. Cirurgia cardíaca. Disponível: <http://www.tuasaude.com/cirurgia-cardiaca/>

Anulando os Efeitos do Canal com Sombreamento Correlacionado no Sensoriamento Espectral

Roberto César Dias Vilela Bomfin
 Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
 Santa Rita do Sapucaí - MG - Brazil
 roberto@gee.inatel.br

Rausley Adriano Amaral de Souza
 Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
 Santa Rita do Sapucaí - MG - Brazil
 rausley@inatel.br

Resumo— O sensoriamento espectral cooperativo, centralizado e baseado em autovalores analisado neste artigo, tem sido bastante estudado nos últimos anos devido ao seu potencial de resolver os problemas de escassez e ociosidade de espectro eletromagnético. O desempenho do sensoriamento depende, entre outros aspectos, do canal entre o transmissor licenciado e os rádios cognitivos. Portanto é de relevância considerar os efeitos do ambiente de propagação a fim de se avaliar o sistema de maneira mais realista. Nesse trabalho foi considerado o canal com desvanecimento por múltiplos percursos e com sombreamento, sendo que este último é do tipo correlacionado, efeito existente na prática que degrada o desempenho do sistema. A proposta do trabalho é avaliar em quanto o tempo de sensoriamento deve ser aumentado para que o efeito da correlação do sombreamento seja cancelado do ponto de vista do desempenho. Foram consideradas as seguintes técnicas de detecção baseada em autovalores: detecção de energia (ED, *energy detection*); o teste de razão de verossimilhança generalizado (GLRT, *generalized likelihood ratio test*); a detecção por máximo autovalor (MED, *maximum eigenvalue detection*), também conhecida como teste de Roy de máxima raiz (RLRT, *Roy's largest root test*); e a detecção pela relação entre máximo e mínimo autovalor (MMED, *maximum-minimum eigenvalue detection*), também conhecida como detecção por razão de autovalores (ERD, *eigenvalue ratio detection*). Os resultados mostram que as técnicas ED e RLRT requerem o mesmo aumento no tempo de sensoriamento, seguidas das técnicas GLRT e ERD.

Palavras-chave— Autovalor, canal correlacionado, sensoriamento espectral, sombreamento correlacionado.

I. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação sem fio vêm sendo cada vez mais exigidos no que diz respeito à taxa de transmissão e qualidade de serviço (QoS). Porém, para que o desenvolvimento tecnológico possa acompanhar a demanda dos usuários, é necessário que o espectro eletromagnético seja utilizado de maneira mais eficiente, uma vez que este não vem sendo gerenciado adequadamente, como alguns estudos demonstram [1]. Nesse contexto é invocado o conceito de rádio cognitivo (RC), proposto por Mitola em [2], do qual uma das funções é alocar sua banda de transmissão de acordo com a disponibilidade do espectro na região em que o RC estiver operando, fazendo com que não seja necessária a alocação fixa de canal (FCA), evitando assim ociosidade e escassez do espectro eletromagnético. O RC realiza esse objetivo por meio do sensoriamento espectral, em que sinais presentes em determinada banda são capturados e processados, a fim

de encontrar os chamados buracos espetrais, ou seja, faixas espetrais ociosas que serão utilizadas de forma oportunista até que algum usuário licenciado, também chamado de usuário primário, passe a transmitir nessa faixa de frequências.

O sensoriamento espectral estudado nesse trabalho é cooperativo, centralizado por fusão de dados, e baseado em autovalores. O sensoriamento cooperativo é interessante visto que tem a capacidade de mitigar efeitos do canal como desvanecimento por múltiplos percursos e sombreamento, uma vez que vários receptores irão colher amostras dos sinais na banda de interesse, fazendo uso de diversidade espacial, melhorando portanto o desempenho do sensoriamento espectral [3]. O fato de o sensoriamento ser centralizado por fusão de dados, significa que os RCs que realizam o sensoriamento espectral enviam seus dados ao centro de fusão (CF), que por sua vez realiza operações com esses dados e decide se o espectro está livre ou ocupado. Por fim, no sensoriamento baseado em autovalores, o CF calcula os autovalores da matriz de covariância do sinal recebido, e a partir desses autovalores, calcula a estatística de teste que será comparada com o limiar de decisão para que haja a conclusão sobre o estado de ocupação do espectro.

O sensoriamento baseado em autovalores tem ganhado bastante atenção em muitos trabalhos visto que nesse caso não há necessidade de conhecimento prévio sobre a natureza do sinal dos usuários licenciados [4]–[6]. Nesse artigo foram consideradas as seguintes técnicas de detecção por autovalores: detecção de energia (ED, *energy detection*); o teste de razão de verossimilhança generalizado (GLRT, *generalized likelihood ratio test*); a detecção por máximo autovalor (MED, *maximum eigenvalue detection*), também conhecida como teste de Roy de máxima raiz (RLRT, *Roy's largest root test*); e a detecção pela relação entre máximo e mínimo autovalor (MMED, *maximum-minimum eigenvalue detection*), também conhecida como detecção por razão de autovalores (ERD, *eigenvalue ratio detection*).

Outro aspecto que na prática exerce influência sobre o desempenho do sensoriamento espectral e de sistemas sem fio de modo geral é o ambiente de propagação [7]–[9]. Seja qual for a maneira como o sensoriamento é implementado, ou qual técnica de detecção for utilizada, o canal tem um papel decisivo no desempenho do sistema [4]–[7]. Com base nesse fato, esse trabalho analisa os efeitos negativos do canal,

sendo considerados os fenômenos de desvanecimento por múltiplos percursos e sombreamento [10], [11], sendo que o sombreamento é correlacionado, em que foi utilizado o modelo baseado em *grid points* [12], [13] para reproduzi-lo. O sombreamento correlacionado tende a degradar o desempenho do sensoriamento, uma vez que a diversidade espacial obtida por meio da cooperação dos rádios, não terá a mesma eficácia devido à correlação existente entre os sinais que propagam através destes canais entre transmissor e RCs. O estudo presente nesse artigo tem o intuito de medir o quanto deve-se aumentar a quantidade de dados coletados por cada RC, para que a degradação causada pela correlação do sombreamento seja anulada.

Na Seção II é apresentado o modelo do sistema, o modo como o sensoriamento foi implementado e o modelo de canal utilizado. Na Seção III são mostrados os resultados das experiências e feitas algumas discussões. Por fim a Seção IV conclui o trabalho com as considerações mais importantes sobre os resultados e propostas para pesquisas futuras.

II. MODELO DO SISTEMA

A. Sensoriamento Espectral Centralizado Baseado em Autovalores

Considere o modelo de canal com desvanecimento MIMO, discreto no tempo, linear e sem memória. Admita que existam M RCs, cada um com uma antena, coletando N amostras do sinal recebido proveniente de P transmissores primários durante o tempo de sensoriamento, e essas amostras são organizadas em uma matriz $\mathbf{Y} \in \mathbb{C}^{M \times N}$. O desempenho do sistema sob canal correlacionado será avaliado em função do parâmetro N (ver Seção III), em que o objetivo é encontrar o valor de N a partir do qual o desempenho do sistema fique igual ou superior ao caso de o canal não estar correlacionado. Considere que as amostras do sinal transmitido são organizadas em uma matriz $\mathbf{X} \in \mathbb{C}^{P \times N}$, e que $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{M \times P}$ é a matriz de canal com elementos $\{h_{mp}\}$, $m = 1, 2, \dots, M$ e $p = 1, 2, \dots, P$, representando o ganho do canal entre o p -ésimo transmissor primário e m -ésimo RC. Os elementos da matriz de canal modelam um canal com desvanecimento plano e sombreamento entre o transmissor primário e o RC, considerando que o canal é constante durante o período de sensoriamento e independente de um período a outro. O canal é descrito com mais detalhes na Subseção II-C. Por fim, a matriz $\mathbf{V} \in \mathbb{C}^{M \times N}$ contém as amostras complexas de ruído Gaussiano branco aditivo (AWGN, *additive white Gaussian noise*), que corrompem o sinal recebido pelos rádios cognitivos. Assim, a matriz recebida é dada por

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} + \mathbf{V}. \quad (1)$$

No sensoriamento espectral baseado em autovalores, os buracos espectrais são detectados a partir das estatísticas dos autovalores da matriz de covariância do sinal recebido. Na configuração em que a decisão é cooperativa e centralizada com fusão de dados, a matriz é formada no centro de fusão (CF), e a matriz de covariância é estimada por meio da

seguinte expressão

$$\mathbf{R} = \frac{1}{n} \mathbf{Y} \mathbf{Y}^\dagger \quad (2)$$

em que $(\cdot)^\dagger$ representa o conjugado transposto. Os autovalores de \mathbf{R} são computados, e admitindo um único transmissor primário, ou seja, $P = 1$, as variáveis de decisão para as técnicas ED, GLRT, RLRT e ERD, são calculadas, respectivamente, de acordo com [4]:

$$T_{\text{ED}} = \frac{\|\mathbf{Y}\|_F^2}{MN\sigma^2} = \frac{1}{M\sigma^2} \sum_{m=1}^M \lambda_m \quad (3)$$

$$T_{\text{GLRT}} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{M} \text{tr}(\mathbf{R})} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \lambda_m} \quad (4)$$

$$T_{\text{RLRT}} = \frac{\lambda_1}{\sigma^2} \quad (5)$$

$$T_{\text{ERD}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_M} \quad (6)$$

em que σ^2 é a potência do ruído, que é conhecida para as técnicas ED e RLRT, $\text{tr}(\cdot)$ e $\|\cdot\|_F$ são o traço e a norma de Frobenius, respectivamente. A decisão sobre a ocupação do canal é alcançada comparando a variável de decisão com um limiar estabelecido.

B. O Sensoriamento Espectral como um Teste de Hipóteses

O sensoriamento espectral pode ser modelado como um teste binário de hipóteses, dado por

$$\begin{aligned} \mathcal{H}_0 : & \text{ Sinal primário está ausente} \\ \mathcal{H}_1 : & \text{ Sinal primário está presente,} \end{aligned} \quad (7)$$

em que \mathcal{H}_0 é a hipótese nula, representando a ausência do transmissor primário, e \mathcal{H}_1 é a hipótese alternativa que indica a presença de ao menos um transmissor primário. Dois importantes parâmetros associados ao desempenho do sensoriamento espectral são a probabilidade de detecção P_d , e a probabilidade de falso alarme P_{fa} , cujas definições são dadas por

$$\begin{aligned} P_d &= \Pr \{ \text{decisão} = \mathcal{H}_1 | \mathcal{H}_1 \} = \Pr \{ T > \gamma | \mathcal{H}_1 \} \\ P_{fa} &= \Pr \{ \text{decisão} = \mathcal{H}_1 | \mathcal{H}_0 \} = \Pr \{ T > \gamma | \mathcal{H}_0 \}, \end{aligned} \quad (8)$$

em que $\Pr \{\cdot\}$ é a probabilidade de ocorrência de um dado evento, T é a variável de decisão e γ é o limiar de decisão. O valor de γ é escolhido dependendo dos requisitos de desempenho do sistema, em muitos estudos esse valor é selecionado para que se tenha $P_{fa} = 0,1$ [5], [14], [15]. Uma das formas de se avaliar o desempenho do sensoriamento espectral é a utilização da curva característica de operação no receptor (ROC, *receiver operating characteristic*), que representa graficamente a P_d em função de P_{fa} ou vice-versa. Quando γ diminui, P_d e P_{fa} aumentam, o oposto ocorre caso contrário. Portanto a curva ROC estabelece uma relação de compromisso entre P_d e P_{fa} , que por sua vez dependem do limiar de decisão γ .

Como anunciado na Seção I, e complementado na Subseção II-A, o objetivo desse trabalho é verificar a quantidade de amostras N , que cada RC deve coletar para que o desempenho do sistema sob canal com correlação se iguale ou ultrapasse o desempenho do sistema sob canal não correlacionado. Para isso foi analisada a região em que $P_{fa} = 0, 1$, e não toda a curva ROC, visto que esse é um valor do parâmetro P_{fa} frequentemente adotado na literatura.

C. Canal com Sombreamento Correlacionado

Para reproduzir o canal com sombreamento correlacionado, foi considerado o modelo tridimensional baseado em *grid points* [12], como mostra a Figura 1. Neste modelo são posicionados os rádios cognitivos, com uma antena cada um, no espaço, com as respectivas coordenadas x , y e z . Ajustando a coordenada z igual a zero, o modelo é reduzido ao sistema bidimensional proposto em [13]. Para que haja a correlação espacial entre RCs, eles são dispostos no espaço $L \times L \times L$ em metros, o valor de L tem influência sobre o grau de correlação entre os RCs, quanto maior o valor de L , mais espaçados os RCs estão fisicamente, fazendo com que haja menos correlação entre eles. O oposto ocorre caso contrário. Esse efeito é notado na Seção III, em que são utilizados dois valores de L , 30 e 60 metros. Nos pontos definidos como *Grid Points*, são geradas amostras com distribuição Gaussiana com média nula e desvio padrão σ_{dB} . Os pontos A, B, C, D, E, F, G e H tem, respectivamente, suas amostras Gaussianas representadas como S_a , S_b , S_c , S_d , S_e , S_f , S_g e S_h . O ponto P representa a posição de um RC qualquer, cujas amostras Gaussianas de canal são representadas por S_p , e são obtidas por

$$S_p = [(S_a X' + S_b X) Y' + (S_c X' + S_d X) Y] Z' + [(S_e X' + S_f X) Y' + (S_g X' + S_h X) Y] Z \quad (9)$$

em que $X' = 1 - X$, $Y' = 1 - Y$ e $Z' = 1 - Z$. As distâncias X , Y e Z são as coordenadas do ponto P normalizadas com relação à distância de decorrelação D_{dec} . O desvio padrão, σ_p , das amostras S_p , que são a parcela de sombreamento do canal, é diferente de σ_{dB} . Portanto para que se tenha controle sobre σ_p , fazendo com que seja igual à σ_{dB} , é necessário fazer a correção

$$S'_p = \frac{S_p}{\sqrt{(1 - 2X + 2X^2)(1 - 2Y + 2Y^2)(1 - 2Z + 2Z^2)}}. \quad (10)$$

em que as amostras de S'_p representam a parcela de sombreamento do ganho do canal entre um transmissor primário arbitrário e o receptor no ponto P. Maiores detalhes do canal são apresentados na Subseção II-D.

O parâmetro D_{dec} , em metros, é a distância de decorrelação, que é a distância de separação entre os *grid points*. Na prática, esse valor varia em torno de dezenas de metros [16], [17].

D. Canal com Desvanecimento e Sombreamento

Considere a matriz de canal em (1) dada por

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}^f + \mathbf{H}^s. \quad (11)$$

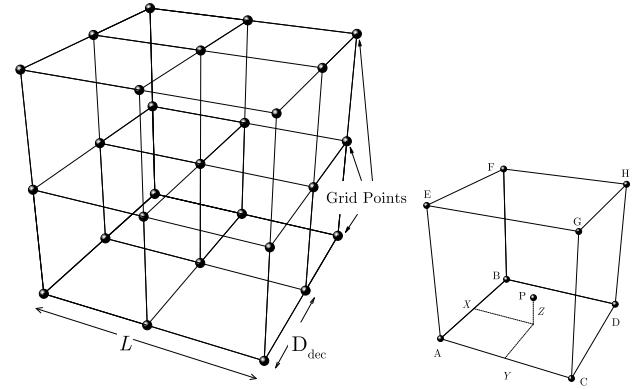


Fig. 1
REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UM CANAL TRIDIMENSIONAL COM SOMBREAMENTO CORRELACIONADO [18].

A parcela da matriz de canal \mathbf{H}^f representa o *desvanecimento por múltiplos percursos*, com elementos $|h_{mp}^f|$ (magnitudes) e $\arg h_{mp}^f$ (fases) tendo distribuições Rayleigh e uniforme entre 0 e 2π , respectivamente, com $m = 1, 2, \dots, M$ e $p = 1, 2, \dots, P$. A porção \mathbf{H}^s da matriz de canal reproduz o efeito do *sombreamento*, com elementos $|h_{mp}^s|$ e $\arg h_{mp}^s$ tendo distribuições Lognormal e uniforme entre 0 e 2π respectivamente. A parcela relacionada ao sombreamento, \mathbf{H}^s , é gerada a partir do modelo apresentado na Subseção II-C, em que foi feito o uso da transformação $|h_{mp}^s| = 10^{S_p'/20}$, em que S_p' é obtido a partir de (10).

Lembrando que uma variável Lognormal R está relacionada com uma variável Gaussiana W através da relação $R = \exp(W)$, e considerando o desvanecimento e sombreamento simultaneamente, é possível demonstrar que os elementos de \mathbf{H} são variáveis aleatórias complexas cujas magnitudes seguem a função densidade de probabilidade Rayleigh-Lognormal dada por [10], [11]

$$f_H(h) = \frac{h}{b_0 \sqrt{2\pi d_0}} \times \int_0^\infty \frac{I_0(hr/b_0)}{r} \exp\left(-\frac{(\ln r - \mu)^2}{2d_0} - \frac{(h^2 + r^2)}{2b_0}\right) dr \quad (12)$$

em que $H \triangleq |h_{mp}|$ é uma variável aleatória representando o canal com desvanecimento e sombreamento entre cada transmissor primário e cada receptor ou RC. O parâmetro b_0 representa a potência média espalhada devido aos múltiplos percursos, $\sqrt{d_0}$ e μ são o desvio padrão e a média, respectivamente, da variável aleatória Gaussiana que gera a variável Lognormal. $I_0(\cdot)$ é a função de Bessel modificada de primeiro tipo de ordem 0. Sabendo que as variáveis Rayleigh e Lognormal são aditivas, é possível encontrar o ganho do canal dado por

$$\mathbb{E}(H^2) = 2b_0 + \exp(2\mu + 2d_0), \quad (13)$$

em que $\mathbb{E}(\cdot)$ denota o operador de esperança matemática. Concluindo, o modelo de Loo admite que a componente com

linha de visada direta (LOS) está sujeita ao sombreamento, resultando em uma envoltória com distribuição Lognormal.

III. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Nessa Seção são mostrados os resultados simulados por meio de eventos de Monte Carlo. Juntamente com as figuras, análises são feitas sobre os resultados, e são apresentadas de forma mais objetiva na Seção IV, para concluir o artigo.

As experiências tem o objetivo de encontrar o quanto deve-se aumentar o valor de N para que o desempenho dos sensoriamento espectral sob canal com sombreamento correlacionado seja igual ou superior ao caso do canal não correlacionado, em torno de $P_{fa} = 0,1$, a fim de anular a degradação do desempenho do sistema causada pelo efeito da correlação no canal. Em todos os gráficos as curvas com linha contínua e símbolos (asterisco) representam o desempenho alvo, que foi gerada considerando $N = 50$ sob canal sem correlação.

Em todas as figuras apresentadas, foram utilizados 2×10^5 eventos de Monte Carlo para cada ponto nos gráficos. Os parâmetros do canal utilizados foram $\sigma_{dB} = 4\text{dB}$, em que d_0 em (12) é dado por $\sigma_{dB}/(20 \times \log e)$, $\mu = 0$ e $b_0 = 0,21$. Em todas as simulações foram admitidos 6 RCs realizando o sensoriamento espectral e 1 transmissor primário, portanto $M = 6$ e $P = 1$ (revisitar Subseção II-A), com relação sinal-ruído média SNR = -10dB . Para realizar as simulações foi utilizado o software MATLAB. As simulações foram realizadas com duas configurações diferentes quanto à disposição dos RCs, para $L = 60$ e $L = 30$, e com o mesmo valor de $D_{dec} = 60$ (revisitar Subseção II-C). As coordenadas x , y e z foram geradas sendo variáveis aleatórias uniformemente distribuídas entre 0 e L . Todas as técnicas de detecção apresentadas são analisadas, com a ressalva de que não há curvas para a técnica ERD, cujos resultados não permitiram uma análise gráfica razoável. A análise da técnica ERD é feita na Subseção III-B.

A. Técnicas ED, GLRT e RLRT

As Figuras 2 e 3 são referentes à técnica ED. Para o caso de $L = 60$, foi verificado que para anular a degradação do sistema causada pelo canal, em torno de $P_{fa} = 0,1$, foi necessário aumentar N de 50 para 65, a curva contínua com o símbolo quadrado, $N = 65$, se iguala à curva contínua com o símbolo asterisco, canal sem correlação com $N = 50$, o que representa um acréscimo de 30% no tempo de sensoriamento. Para o caso de $L = 30$, em que a correlação do sombreamento é mais severa, foi observado que é necessário aumentar N para 75, comparando a curva tracejada de símbolo triangular com a curva contínua de símbolo asterisco, fazendo com que o tempo de sensoriamento fique 50% maior.

Observa-se que para o canal com maior grau de correlação, é necessário gastar mais tempo realizando o sensoriamento espectral para se obter o mesmo desempenho do caso sem correlação. As figuras 4 e 5, referentes à técnica GLRT, os resultados mostram que para o caso de $L = 60$, é necessário aumentar N para 56, representando um acréscimo de 12% no tempo de sensoriamento. Para a configuração de $L = 30$, N precisa ser aumentado para 65, o que corresponde à 30%

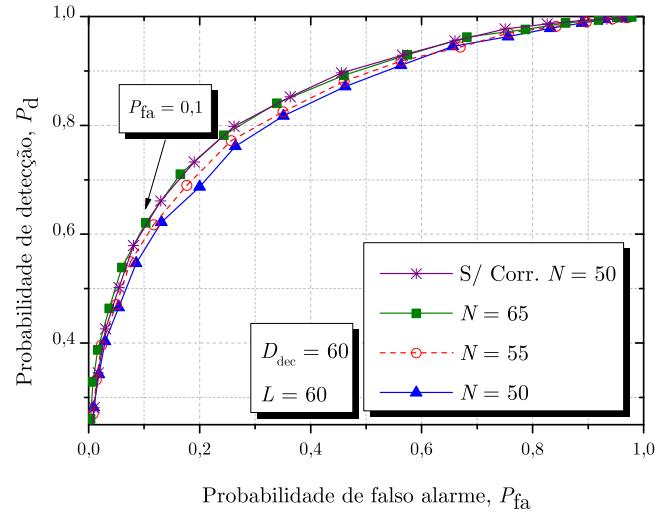


Fig. 2
CURVAS ROC PARA ED, $D_{DEC} = 60$, $L = 60$ E ALTERANDO N .

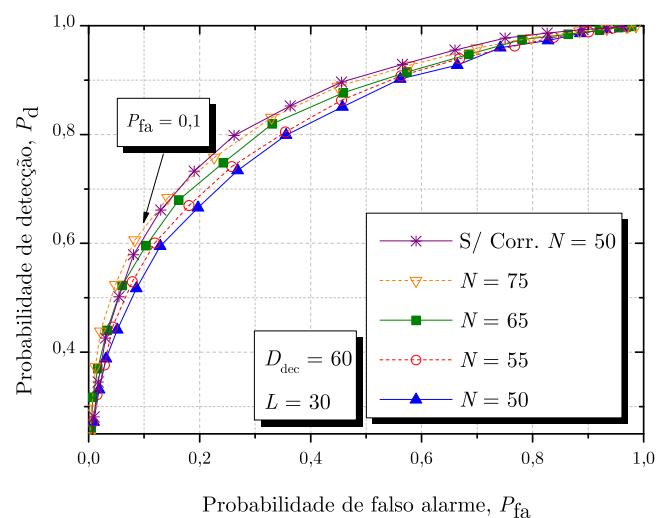


Fig. 3
CURVAS ROC PARA ED, $D_{DEC} = 60$, $L = 30$ E ALTERANDO N .

mais tempo realizando o sensoriamento espectral. De forma semelhante com os resultados para a técnica ED, no caso de maior grau de correlação do sombreamento, $L = 30$, o sistema requer um aumento maior no tempo de sensoriamento para que seja tão eficiente quanto no caso de sombreamento do canal não ser correlacionado.

As Figuras 6 e 7 correspondem às simulações com a técnica RLRT. A figura 6, $L = 60$ mostra que para o desempenho do sistema se igualar ao canal sem correlação, N precisa aumentar de 50 para 65, fazendo com que o tempo de sensoriamento fique 30% maior. Na segunda figura, 7, com $L = 30$, verifica-se que o desempenho do sistema se iguala ao caso sem correlação quando N atinge 75, o que representa

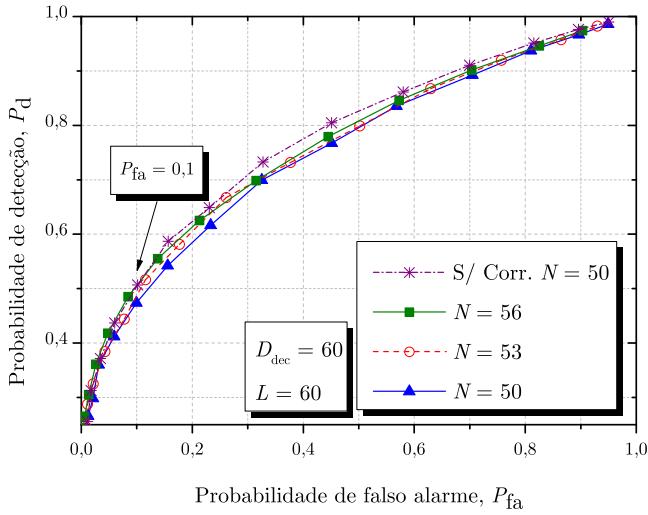


Fig. 4

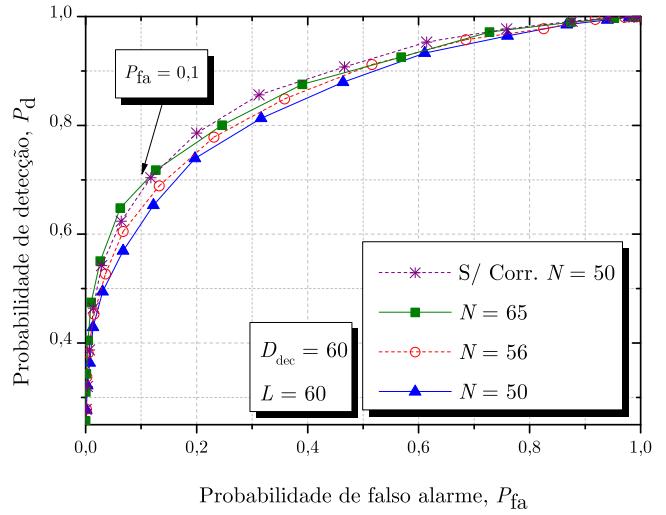
CURVAS ROC PARA GLRT, $D_{\text{DEC}} = 60$, $L = 60$ E ALTERANDO N .

Fig. 6

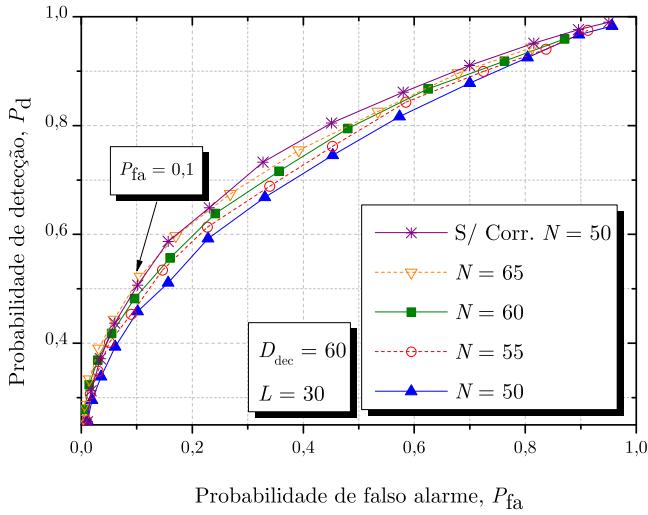
CURVAS ROC PARA RLRT, $D_{\text{DEC}} = 60$, $L = 60$ E ALTERANDO N .

Fig. 5

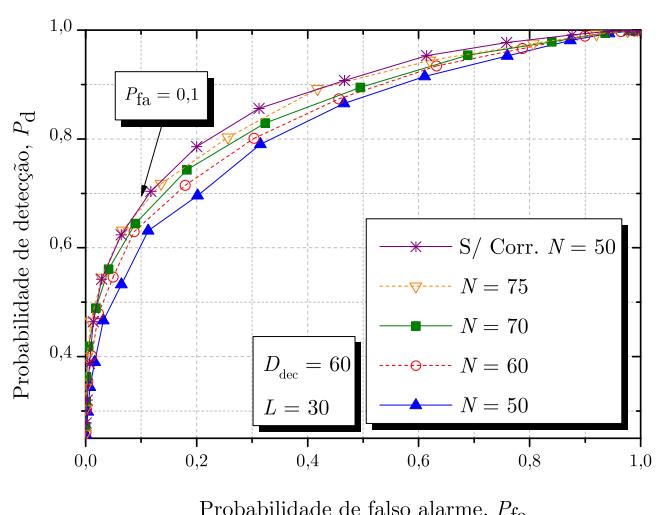
CURVAS ROC PARA GLRT, $D_{\text{DEC}} = 60$, $L = 30$ E ALTERANDO N .

Fig. 7

CURVAS ROC PARA RLRT, $D_{\text{DEC}} = 60$, $L = 30$ E ALTERANDO N .

um aumento de 50% no tempo de sensoriamento. Novamente o canal em que a correlação do sombreamento é maior, $L = 30$, degrada mais o desempenho do sistema, fazendo que com seja necessário um maior aumento no tempo de sensoriamento para que a degradação seja anulada.

B. Técnica ERD

A técnica ERD não apresentou uma degradação significativa em torno de $P_{\text{fa}} = 0,1$ para o canal com $L = 60$, não sendo possível verificar um aumento de N para que o desempenho fosse igualado ao caso do canal sem sombreamento correlacionado. Para o canal com $L = 30$, houve uma degradação maior, e para que o sistema fosse igualado ao caso sem correlação,

N precisou de aumentado de 50 para 55, representando um acréscimo de 10% no tempo de sensoriamento. Embora os resultados tenham mostrado que a técnica ERD é menos suscetível à correlação do canal, isso não significa que ela tem melhor desempenho que as outras, na verdade ela possui o pior desempenho de todos, embora o seu desempenho seja menos degradado pelo canal correlacionado do que os outros.

A Tabela I compara as técnicas no que diz respeito à porcentagem de tempo de sensoriamento que deve ser aumentada para que a degradação causada pelo canal com sombreamento correlacionado seja anulada, para as condições de $L = 60$ e $L = 30$.

TABELA I
AUMENTO DO TEMPO DE SENSORIAMENTO

	$L = 60$	$L = 30$
ED	30%	50%
GLRT	12%	30%
RLRT	30%	50%
ED	-	10%

IV. CONCLUSÃO E NOVAS PESQUISAS

Esse trabalho analisou o desempenho do sensoriamento espectral sob canal com sombreamento correlacionado. O objetivo das experiências foi verificar a quantidade de amostras coletadas por cada RC, N , que deveria ser aumentada para que o desempenho do sistema fosse igual ou superior, na região de $P_{fa} = 0,1$, quando comparada ao canal sem o sombreamento correlacionado.

As técnicas de detecção analisadas foram ED, GLRT, RLRT e ERD. Foi verificado que as técnicas ED e RLRT são mais sensíveis ao canal com sombreamento correlacionado, visto que necessitam aumentar o tempo de sensoriamento mais do que as outras, para anular a degradação causada pelo canal. Não foram apresentadas figuras para a técnica ERD, visto que os resultados obtidos não possibilitaram análises gráficas interessantes. Os resultados da técnica ERD mostram que o tempo de sensoriamento deve ser aumentado pouco para combater à degradação do sistema causada pelo canal, embora tenha sido feito a ressalva que de essa técnica apresenta o pior desempenho absoluto de todos. A técnica GLRT apresentou resultados intermediários entre a técnica ERD e as outras duas.

Também foi verificado que para todas as técnicas, quando o canal apresenta maior correlação entre os RCs, é necessário aumentar mais o número de amostras coletadas para combater a degradação causada. Esse comportamento é esperado, uma vez que com o aumento da correlação no canal, o desempenho do sistema tende a piorar, fazendo que o número de amostras coletadas naturalmente tenha que ser maior para anular essa degradação.

Para pesquisas futuras, sugere-se que sejam analisadas outras técnicas de detecção por autovalores, que as experiências sejam feitas utilizando-se outros parâmetros de canal, e que se mude o número de amostras de referencial para o canal sem correlação, que nesse trabalho foi usado $N = 50$. Outra possibilidade é gerar as coordenadas x , y e z com distribuição diferente da uniforme.

V. AGRADECIMENTOS

Esse trabalho foi parcialmente financiado pela Fapemig (*Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais*) Grant TEC-APQ-01255-12. Também foi parcialmente financiado pela Finep/Funttel Grant No. 01.14.0231.00, sob o projeto do Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Minas Gerais, Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Cabric, A. Tkachenko, and R. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection," in *Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006. IEEE*, Oct. 2006, pp. 1–7.
- [2] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun. Mag.*, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, Aug. 1999.
- [3] Y. Zeng, Y.-C. Liang, A. Hoang, and R. Zhang, "A review on spectrum sensing for cognitive radio: Challenges and solutions," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2010, no. 1, p. 381465, 2010. [Online]. Available: <http://asp.eurasipjournals.com/content/2010/1/381465>
- [4] A. Kortun, T. Ratnarajah, M. Sellathurai, C. Zhong, and C. B. Papadias, "On the performance of eigenvalue-based cooperative spectrum sensing for cognitive radio," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of*, vol. 5, no. 1, pp. 49–55, Feb. 2011.
- [5] B. Nadler, F. Penna, and R. Garello, "Performance of eigenvalue-based signal detectors with known and unknown noise level," in *IEEE Int. Conf. Communications*, Jun. 2011, pp. 1–5.
- [6] A. Kortun, T. Ratnarajah, and M. Sellathurai, "Exact performance analysis of blindly combined energy detection for spectrum sensing," in *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on*, Sept 2010, pp. 560–563.
- [7] N. Reisi, M. Ahmadian, and S. Salari, "Performance analysis of energy detection-based spectrum sensing over fading channels," in *Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2010 6th International Conference on*, Sep. 2010, pp. 1–4.
- [8] P. M. Shankar, "Statistical models for fading and shadowed fading channels in wireless systems: A pedagogical perspective," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 60, no. 2, pp. 191–213, Sep. 2011.
- [9] M. Simon and M. Alouini, *Digital communication over fading channels*, ser. Wiley series in telecommunications and signal processing. Wiley-Interscience, 2005.
- [10] C. Loo, "A statistical model for a land mobile satellite link," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 34, no. 3, pp. 122–127, Aug. 1985.
- [11] C. Loo and N. Secord, "Computer models for fading channels with applications to digital transmission," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 4, pp. 700–707, Nov. 1991.
- [12] R. C. D. V. Bomfin and R. A. de Souza, "A new spatially correlated shadowed channel model with cognitive radio application," in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2015)*, May 2015, pp. 1–5.
- [13] J. C.-I. Chuang, "Autonomous adaptive frequency assignment for tdma portable radio systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 3, pp. 627–635, Aug. 1991.
- [14] N. Pillay and H. Xu, "Eigenvalue-based spectrum 'hole' detection for Nakagami- m fading channels with Gaussian and impulse noise," *Communications, IET*, vol. 6, no. 13, pp. 2054–2064, Sep. 2012.
- [15] N. Pillay and Xu, "Blind eigenvalue-based spectrum sensing for cognitive radio networks," *Communications, IET*, vol. 6, no. 11, pp. 1388–1396, Jul. 2012.
- [16] M. Gudmundson, "Correlation model for shadow fading in mobile radio systems," *Electronics Letters*, vol. 27, no. 23, pp. 2145–2146, Nov 1991.
- [17] A. Lozano and D. Cox, "Integrated dynamic channel assignment and power control in tdma mobile wireless communication systems," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 17, no. 11, pp. 2031–2040, Nov 1999.
- [18] D. A. Guimarães and R. A. A. de Souza, "Implementation-oriented model for centralized data-fusion cooperative spectrum sensing," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 11, pp. 1804–1807, Nov. 2012.

Efeito da dispersão cromática no sinal BPSK em um enlace óptico de longa distância

Luís Antônio Ribeiro Scudeler
Alan Lima Lemes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
scudeler@gee.inatel.br
alan.lima@gee.inatel.br

Tony Eduardo dos Santos de Carvalho
Antonio Alves Ferreira Júnior

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
tony@gee.inatel.br
antonioa@inatel.br

Resumo—Este trabalho avalia o efeito da dispersão cromática da fibra óptica no desempenho de um enlace fotônico analógico de longa distância para transmissão de sinais de RF e micro-ondas. Utiliza-se a modulação em intensidade por meio de um modulador Mach-Zehnder com dupla excitação e a detecção direta por um fotodetector. Emprega-se a modulação binária por chaveamento de fase para inserir a informação na portadora de RF a uma taxa de 1Gbit/s, que irá modular o sinal óptico. Enfatiza-se o modelo analítico exato do enlace fotônico no domínio da frequência. Serão comparados os desempenhos das modulações ópticas analógicas com bandas laterais única e dupla através do diagrama de olho, utilizando simulações numéricas com o programa OptiSystem.

Palavras-chave—Dispersão cromática, enlace analógico a fibra óptica, modulação binária por chaveamento de fase, modulador Mach-Zehnder com dupla excitação.

I. INTRODUÇÃO

A utilização da tecnologia fotônica em micro-ondas tem assumido papel importante na interconectividade global, sendo os setores comercial e militar os principais demandantes. A área de fotônica em micro-ondas contempla a geração, o processamento e a transmissão de sinais de radiofrequência (RF) e micro-ondas utilizando dispositivos fotônicos. Possui aplicações como filtros fotônicos de micro-ondas, na transmissão de sinais de rádio-sobre-fibra (RoF), em alimentação remota e em arranjos de antenas, etc. [1],[2].

Os enlaces analógicos fotônicos têm atraído um interesse em sistemas de radar, acesso para comunicações RoF, redes de faixa larga para televisão a cabo, comunicação entre satélites, guerra eletrônica, conversão de sinais de RF, instrumentação, caracterização de dispositivos fotônicos, geração de formas de onda arbitrárias, etc. [3]-[8]. Há muitos esforços em pesquisa e desenvolvimento de técnicas de transmissão de sinais de RoF utilizando dispositivos fotônicos para as modulações ópticas analógicas com bandas laterais únicas (OSSB) e dupla (ODSB), investigadas neste trabalho [9],[10].

A ampla largura de faixa e a baixa perda da fibra óptica motiva o interesse pela implementação de soluções assistidas por dispositivos fotônicos para comunicações de longas

distâncias e de alta capacidade. A maioria dos serviços de voz, dados e vídeo são transportadas utilizando fibras ópticas, formando uma rede óptica global interconectada. O aumento na transmissão com alta capacidade e o baixo custo por informação transmitida por fibra, que aumenta em torno de 60% ao ano, motiva as pesquisas em sistemas ópticos com alta eficiência espectral. Têm sido propostos formatos de modulações ópticas avançados nas modernas comunicações a fibra óptica [11],[12].

Este trabalho avalia o efeito da dispersão cromática de uma fibra óptica monomodo padrão (SMF) linear no desempenho de um enlace para transmissão de sinais de RF e micro-ondas. Utiliza-se a modulação em intensidade e detecção direta (IM-DD) através de dispositivos fotônicos. Emprega um modulador eletro-óptico externo integrado do tipo Mach-Zehnder com dupla excitação (DD-MZM) e um fotodetector (PD). Será utilizada a modulação binária por chaveamento de fase (BPSK) em banda passante para inserir a informação na portadora de RF a uma taxa de 1Gbit/s e que irá modular o sinal óptico proveniente do diodo laser (LD). Neste estudo inicial, optou-se pela modulação BPSK por sua simplicidade de implementação, comparada às outras de alto nível. Serão comparados os desempenhos das modulações OSSB e ODSB, obtidas com o circuito eletrônico de excitação do DD-MZM. Enfatiza-se o modelo analítico exato do enlace no domínio da frequência. Para as simulações numéricas utiliza-se o programa OptiSystem e validam-se os resultados com o auxílio da análise gráfica do diagrama de olho.

A modelagem do enlace fotônico no domínio da frequência para a transmissão de sinais de RF é apresentada na Seção II. A técnica de geração e de recepção da modulação BPSK em banda passante e algumas de suas características estão na Seção III. Os resultados das simulações numéricas são discutidos na Seção IV e a Seção V é dedicada aos comentários finais.

II. MODELAGEM DO ENLACE FOTÔNICO EM MICRO-ONDAS

Este artigo é baseado na representação esquemática do enlace IM-DD da Fig. 1(a). No transmissor, o diodo laser (LD) gera uma portadora óptica no comprimento de onda desejado

que é modulada pelo sinal de RF, com o DD-MZM. Aplica-se a uma fibra óptica monomodo padrão (SMF) linear e dispersiva e na saída do fotodetector (PD) recupera-se o sinal de RF. Outros trabalhos realizaram uma análise dos efeitos da dispersão cromática no desempenho do enlace com as expressões na forma de séries infinitas [13], e com soluções fechadas sob a condição de pequenos sinais [14]. A distância para a transmissão do sinal óptico será limitada pela dispersão cromática da fibra. Também pode sofrer efeitos não-lineares se a potência óptica ultrapassar os valores que excitam estes efeitos, não considerados neste trabalho. O DD-MZM e o PD com lei quadrática são dispositivos não-lineares e introduzem distorções de RF no sistema. É importante minimizá-los visando à melhoria da qualidade do sinal e do desempenho do sistema [15].

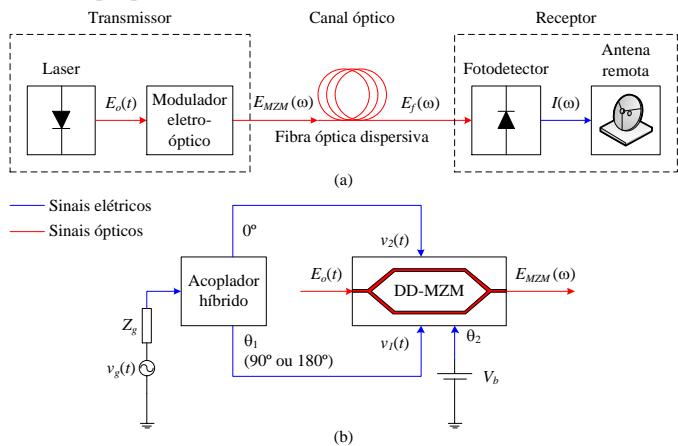


Fig. 1. (a) Representação esquemática do enlace a fibra óptica com IM-DD. (b) Circuito eletrônico do DD-MZM.

O DD-MZM possui uma função importante, pois possibilita a implementação em faixa larga das modulações ópticas analógicas com bandas laterais única (OSSB) e dupla (ODSB) [13],[14]. Estas modulações podem ser obtidas com o circuito eletrônico de excitação do DD-MZM (Fig. 1(b)) ajustando a fase dos sinais elétricos aplicados aos seus eletrodos. Para os casos OSSB e ODSB, as condições para o par dos parâmetros \$(\theta_1, \theta_2)\$ são \$(\pi/2, \pi/2)\$ e \$(\pi, \pi/2)\$, respectivamente. A Fig. 2 ilustra o espectro óptico na saída do DD-MZM para as duas situações, com a frequência do sinal de RF igual a 10GHz e sem modulação, utilizando o programa computacional OptiSsytem [16].

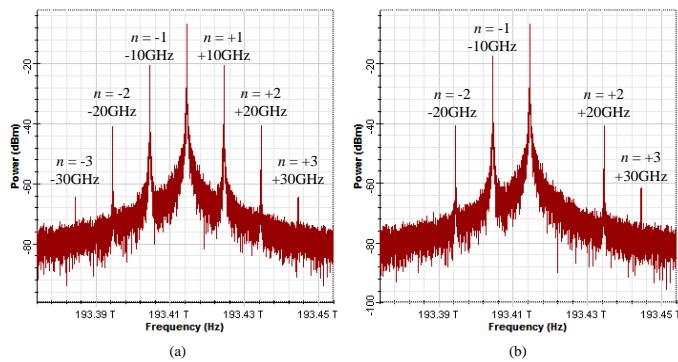


Fig. 2. Espectro óptico na saída do DD-MZM: (a) ODSB e (b) OSSB. A portadora de RF não está modulada.

Considerando os índices de modulações iguais e que o DD-MZM possui razão de extinção infinita, a corrente total de RF detectada, no domínio da frequência, é dada por [17]

$$I(N\omega_{RF}) = 10^{\frac{-\alpha_{dB}L}{10}} \frac{\Re P_o}{4} \times \\ \times (-1)^N \left\{ \left(e^{jN\theta_1} + 1 \right) J_N \left[2m \sin \left(\frac{\phi}{2} \right) \right] + \right. \\ \left. + e^{jN\frac{\theta_1}{2}} \left\{ e^{j\theta_2} J_N \left[2m \sin \left(\frac{\phi + \theta_1}{2} \right) \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + e^{-j\theta_2} J_N \left[2m \sin \left(\frac{\phi - \theta_1}{2} \right) \right] \right\} \right\} \quad (1a)$$

$$\phi = N\omega_{RF}^2 \beta_2 L, \quad (1b)$$

onde \$N\$ é a ordem do hormônico, \$J_N(.)\$ é a função de Bessel de primeira espécie e ordem \$N\$, \$\omega_{RF}\$ é a frequência angular do sinal de RF, \$\theta_1\$ é a diferença de fase entre os sinais de RF aplicados ao DD-MZM, \$\theta_2\$ é a diferença de fase entre os sinais de polarização do DD-MZM, \$\alpha_{dB}\$ é a atenuação da fibra em dB/km, \$L\$ é o comprimento da fibra em km, \$\Re\$ é a responsividade do PD em ampères por watt (A/W) e \$P_o\$ é a potência óptica do LD. O parâmetro dispersão da velocidade de grupo (\$\beta_2\$) é relacionado com o parâmetro dispersão cromática da fibra (\$D\$) dado em ps/(nm.km), com o comprimento de onda da portadora óptica (\$\lambda_o\$) e com a velocidade de propagação da luz no vácuo (\$c\$). Seu valor é obtido com \$\beta_2 = -(D\lambda_o^2)/(2\pi c)\$ [18]. O índice de modulação \$m\$ é dado por \$m = (\pi V)/2V_\pi\$, sendo \$V\$ a amplitude do sinal de RF aplicado aos eletrodos do DD-MZM e \$V_\pi\$ é a tensão de chaveamento de meia-onda do modulador.

O modelo leva em consideração parâmetros de interesse prático como índice de modulação, polarização e diferença de fase do DD-MZM. Leva em conta, também, a atenuação, a dispersão e o comprimento da fibra, a potência e o comprimento de onda do LD, a responsividade do PD e a frequência do sinal de RF.

A Fig. 3 mostra o comportamento da potência de RF detectada em função do comprimento da fibra (\$L\$), para os casos ODSB (\$\theta_1, \theta_2 = \pi, \pi/2\$) e OSSB (\$\theta_1, \theta_2 = \pi/2, \pi/2\$). Os valores estão normalizados com relação ao nível DC detectado. Considerou-se a frequência fundamental do sinal de RF (\$N = 1\$) igual a 10GHz. Observa-se, para a situação ODSB, que há valores de \$L\$ os quais não há potência de RF detectada, sendo aproximadamente 37km, 110km e 184km. Isto é devido à dispersão cromática no deslocamento de fase das componentes espectrais ópticas que se propagam pela fibra. Para o tom fundamental, as duas bandas laterais ópticas alimentam o PD com fases opostas, provocando o cancelamento da respectiva componente espectral de RF após o batimento. Os valores de \$L\$ para os quais há máxima potência detectada são, aproximadamente, 73km e 147km.

Para o caso OSSB, como há apenas uma das bandas laterais, o efeito da dispersão cromática é menos sensível, resultando em uma resposta plana.

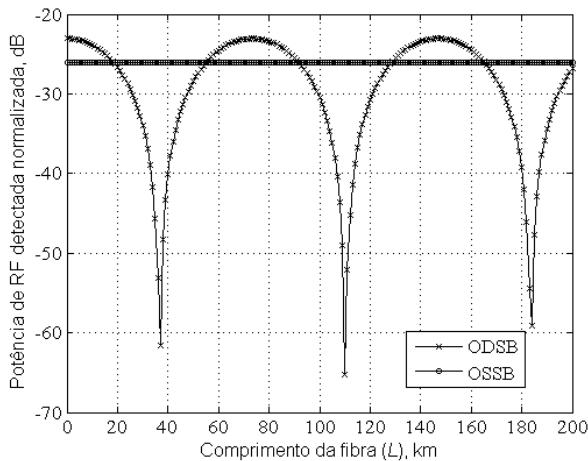


Fig. 3. Potência de RF detectada normalizada com relação ao nível DC em função do comprimento da fibra (L), com $f_{RF} = 10\text{GHz}$ ($N = 1$) para os casos ODSB ($\theta_1, \theta_2 = \pi, \pi/2$) e OSSB ($\theta_1, \theta_2 = \pi/2, \pi/2$).

III. MODULAÇÃO BINÁRIA POR CHAVEAMENTO DE FASE

A modulação BPSK em banda passante (*binary phase shift keying*) será utilizada na portadora de RF $v_g(t)$ (Fig. 1(b)). Os sistemas que utilizam modulações digitais podem conter em seus receptores as formas de detecções coerente ou não-coerente. A escolha considera uma solução de compromisso entre complexidade e desempenho.

Neste estudo, optou-se pela modulação BPSK por sua simplicidade de implementação, comparada às outras de alto nível. Na recepção, escolheu-se a detecção coerente, considerando que no sistema de comunicação há sincronismo entre as portadoras de transmissão e de recepção. Para a detecção não-coerente normalmente utiliza-se a modulação DBPSK (*differential binary phase shift keying*). Os dois tipos apresentam uma estrutura bastante similar no transmissor. A diferença é que na modulação DBPSK existe a presença de um codificador diferencial e de um bloco de atraso no transmissor. No receptor, a estrutura do BPSK possui a vantagem de simplificação do circuito, com um único ramo para realizar a decodificação do sinal recebido. O DBPSK utiliza dois ramos, pois há a necessidade de obter uma compensação devido à falta de sincronismo entre as portadoras de transmissão e de recepção [19].

Em termos de eficiência de potência, a BPSK possui uma considerável vantagem sobre a DBPSK. Um sistema com maior eficiência de potência é aquele que produz menor taxa de erro para um dado valor de E_b/N_0 , sendo E_b a energia de bit e N_0 a densidade espectral de potência do ruído. Para manter a mesma probabilidade de erro de bit, a modulação DBPSK necessita aproximadamente o dobro de potência da modulação BPSK [19].

No modulador BPSK em banda passante, Fig. 4(a), cada símbolo transporta $k = \log_2(M)$ bits de informação, onde M é a ordem da modulação. Neste caso, k é igual a 1, pois $M = 2$. Os períodos de bit (T_b) e de símbolo (T) serão iguais ($T = kT_b$) e,

consequentemente, as taxas de bit e de símbolo também serão iguais. O sinal BPSK em banda passante é dado por [19]

$$s_1(t) = \sqrt{E_b} \phi_1(t) \quad (2a) \quad s_2(t) = -\sqrt{E_b} \phi_1(t) \quad (2b)$$

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2c)$$

onde f_c é a frequência da portadora de RF (f_{RF}) e igual a n_c/T_b com n_c inteiro, $\phi_1(t)$ é a função base para a modulação BPSK, e $0 \leq t < T_b$. Os sinais em (2a) e (2b) caracterizam uma sinalização antipodal, pois $s_1(t) = -s_2(t)$. Na detecção coerente é necessário que as funções base de transmissão e de recepção estejam em sincronismo de fase (ou coerência de fase).

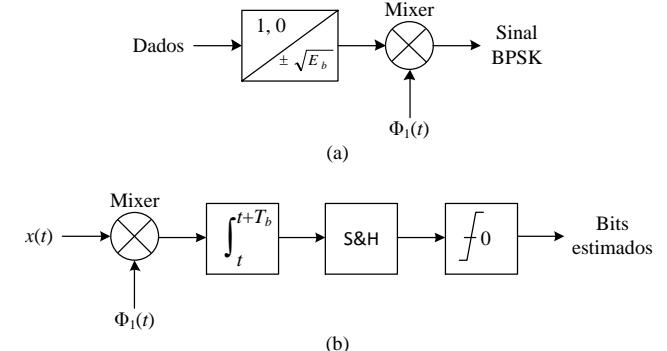


Fig. 4. (a) Modulador BPSK em banda passante. (b) Demodulador BPSK.

No demodulador, Fig. 4(b), será necessário apenas um bloco correlator pelo fato de esta modulação (unidimensional) utilizar somente uma função base. Salienta-se que a diferença de um símbolo para o outro é a polaridade. O bloco S&H (*sample and hold*), amostragem com retenção, retém a amostra da correlação com a função base em um período de símbolo. É feito para que a decisão do símbolo estimado não mude antes que o próximo intervalo de símbolo tenha início. Na saída, a amostra é comparada com zero obtendo-se o bit estimado [19].

Os sinais modulados digitalmente podem ser representados por um sinal com componentes em fase e em quadratura. Porém, um sinal BPSK não possui a componente em quadratura, e a componente em fase é uma sequência aleatória bipolar de pulsos retangulares com amplitude $\pm \sqrt{2E_b/T_b}$ em um período de bit ($0 \leq t < T_b$). A densidade espectral de potência (DEP) do sinal BPSK em banda passante é ilustrada na Fig. 5. A eficiência espectral é a relação da taxa de bits e a faixa de frequências ocupada, dada em bit/s/Hz. Considerando somente a banda ocupada pelo lobo principal da DEP, tanto a BPSK quanto a DBPSK apresentam a mesma eficiência espectral, igual a 0,5bit/s/Hz [19].

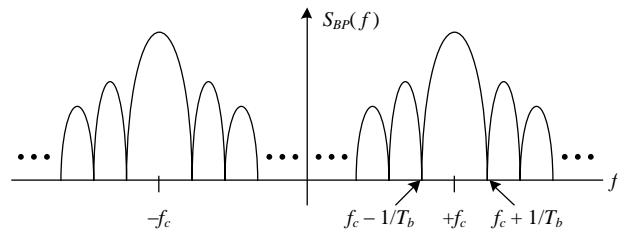


Fig. 5. Densidade espectral de potência (DEP) para um sinal BPSK.

IV. RESULTADOS E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Os resultados das simulações numéricas foram obtidos com o programa computacional OptiSystem [16]. Através do diagrama de olho, serão avaliados o efeito da dispersão cromática da fibra e das não-linearidades do DD-MZM e do PD no desempenho do sistema. O diagrama de olho permite a verificação da influência de ruído e de interferência intersímbólica, sendo importante para a avaliação da qualidade dos sinais em comunicações digitais [19]. Os ruídos gerados pelos circuitos não foram considerados, pois o interesse é o efeito da dispersão cromática da fibra. Serão avaliadas as modulações ópticas ODSB e OSSB, modulação BPSK, $f_{RF} = 10\text{GHz}$ ($N = 1$), taxa de bit igual a 1Gbit/s, $P_o = 0\text{dBm}$, $\lambda_o = 1550\text{nm}$, $D = 17\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$, $\alpha_{\text{dB}} = 0,2\text{dB/km}$, $\mathfrak{R} = 1\text{A/W}$. O comprimento da fibra óptica (L) será ajustado em valores de interesse com referência à Fig. 3.

Para implementar o modulador BPSK em banda passante (Fig. 6) utilizou-se um bloco responsável por gerar bits aleatórios em determinada taxa. O codificador de linha NRZ (*non-return-to-zero*) foi utilizado para transformar a sequência de bits em informação elétrica. A informação representada por pulsos retangulares, com duração T_b , é multiplicada por uma portadora cossenoide em 10GHz gerando o sinal BPSK em banda passante.

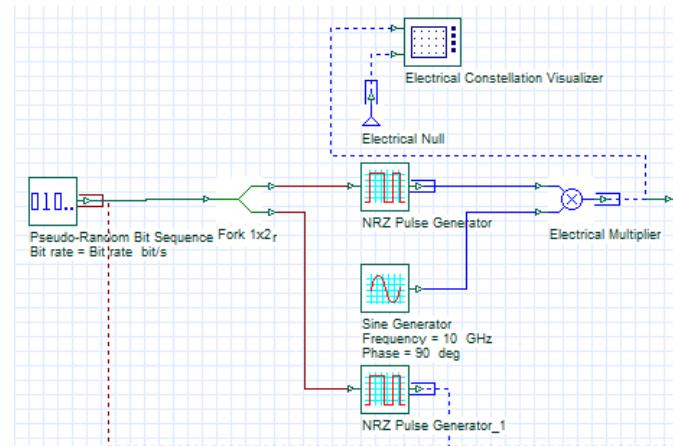


Fig. 6. Implementação do modulador BPSK em banda passante no OptiSystem.

A Fig. 7 mostra a implementação da parte fotônica do sistema de comunicação com o transmissor (LD, DD-MZM e circuito eletrônico), canal óptico (fibra) e receptor (PD). A portadora de RF em 10GHz é modulada digitalmente em BPSK a uma taxa de 1Gbit/s e será aplicada ao DD-MZM. A portadora óptica, em 1550nm, será modulada por este sinal e na saída do DD-MZM pode-se obter as modulações ODSB ou OSSB, dependendo do ajuste de fase (θ_1) entre os sinais de RF, através do defasador elétrico. A Fig. 8 apresenta o espectro óptico na saída do DD-MZM para as situações ODSB e OSSB, respectivamente. Aplica-se à fibra óptica linear e dispersiva e o sinal de RF é recuperado após o PD.

A Fig. 9 mostra a implementação do demodulador BPSK. Após a recuperação do sinal de RF pelo PD, faz-se a correlação que consiste em multiplicar o sinal recebido pela

função base e integrar em um período de bit. Foi considerada uma detecção coerente, do ponto de vista elétrico. Ou seja, as funções base de transmissão e de recepção estão sincronizadas. Com o resultado da correlação, compara-se com o limiar zero pelo bloco *M-ary Threshold Detector* e realiza-se a decisão pela informação recebida.

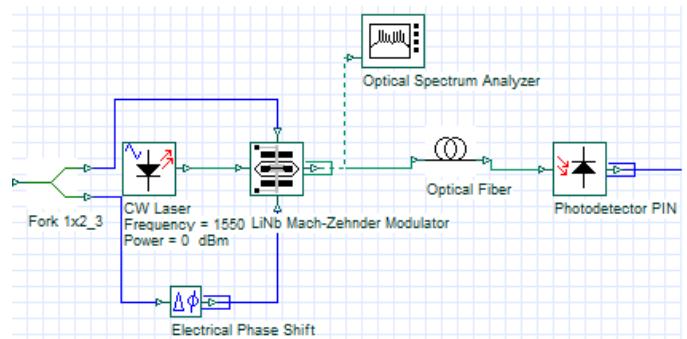


Fig. 7. Implementação da parte fotônica do sistema de comunicação no OptiSystem.

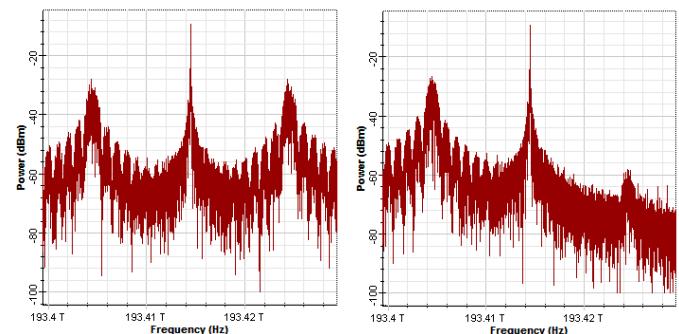


Fig. 8. Espectro óptico na saída do DD-MZM: (a) ODSB e (b) OSSB. A portadora de RF em 10GHz foi modulada em BPSK a uma taxa de 1Gbit/s.

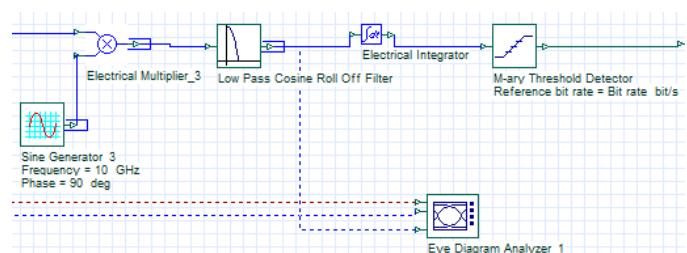


Fig. 9. Implementação do demodulador BPSK no OptiSystem.

A Fig. 10 mostra o diagrama de olho para o ODSB com L ajustado nos valores em que a potência de RF detectada é máxima e mínima, de acordo com a Fig. 3. Nas Figuras 10(a), (c) e (e), pontos de máximo em 0km, 73km e 147km, respectivamente, os diagramas de olho estão abertos. Nas Figuras 10(b), (d) e (f), pontos de mínimo em 37km, 110km e 184km, respectivamente, os diagramas de olho estão degradados. Para o OSSB, curva plana na Fig. 3 sem pontos de potência nula, os diagramas de olho da Fig. 11 estão abertos, resultando em uma boa recepção do sinal em uma ampla faixa de valores de L .

Os resultados da Fig. 3 foram obtidos com a portadora de RF sem modulação. Nas Figuras 10 e 11 o sinal foi modulado digitalmente e o efeito da dispersão na taxa de bit deve ser

levado em consideração. Há critérios para estimar o efeito da dispersão acumulada contemplando a taxa de bit, o comprimento e o parâmetro de dispersão da fibra e a largura espectral do laser [20]. Para 220km e 294km, outros dois pontos de máximo para o caso ODSB, os diagramas de olho começam a se degradar (fechar) devido a este efeito, à medida que L aumenta, e o mesmo ocorre no OSSB. Estes resultados são apresentados nas Figuras 10(g) e (h), e 11(g) e (h).

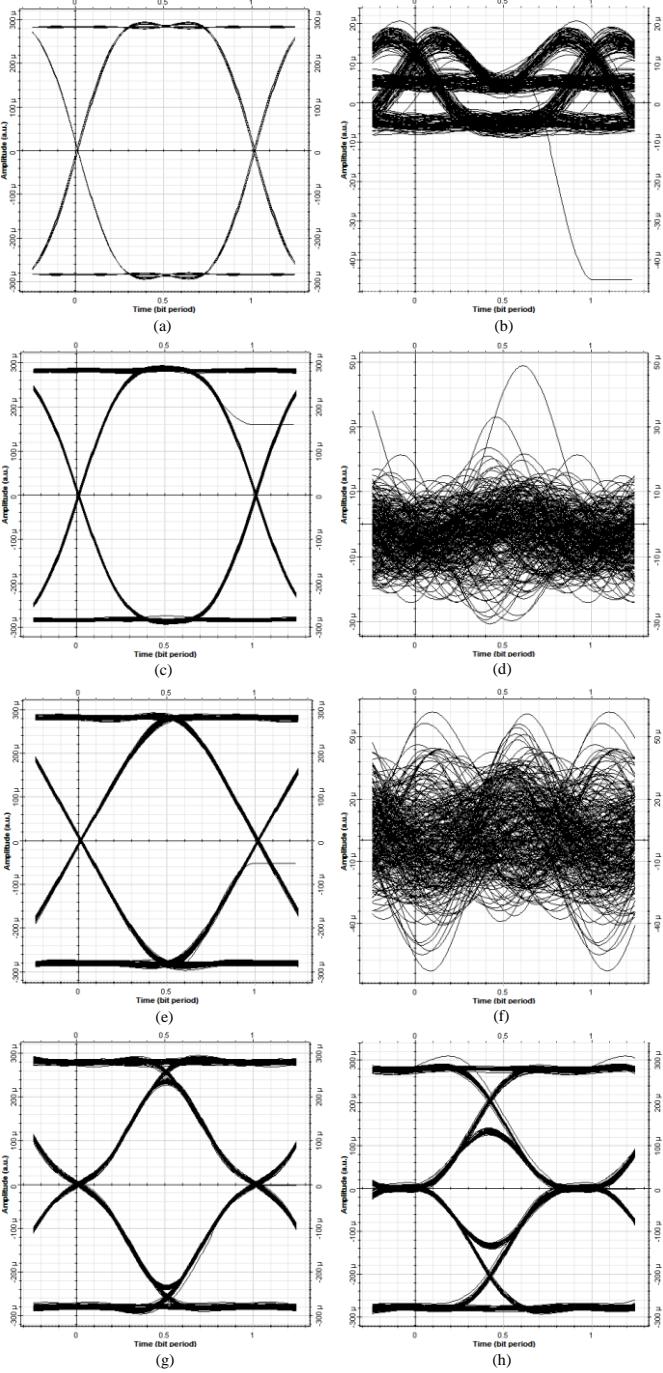


Fig. 10. Diagramas de olho para o caso ODSB com L igual a: (a) 0km, (b) 37km, (c) 73km, (d) 110km, (e) 147km, (f) 184km, (g) 220km e (h) 294km.

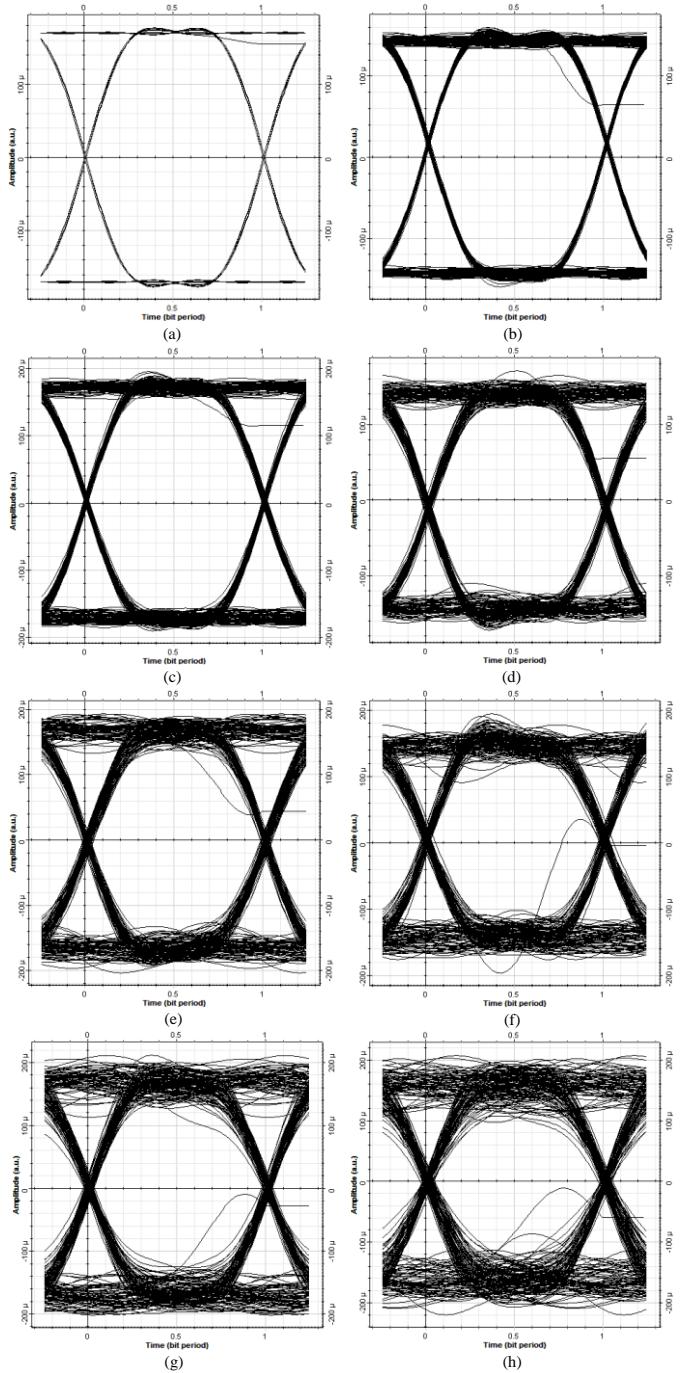


Fig. 11. Diagramas de olho para o caso OSSB com L igual a: (a) 0km, (b) 37km, (c) 73km, (d) 110km, (e) 147km, (f) 184km, (g) 220km e (h) 294km.

Portanto, a previsão do modelo teórico está de acordo com os resultados obtidos com as simulações numéricas. A modulação OSSB é menos sensível aos efeitos da dispersão cromática da fibra óptica. Por outro lado, a modulação ODSB possui o dobro da potência no sinal fotodetectado. Além disso, o efeito da dispersão acumulada para a transmissão de sinais digitais neste enlace deve ser levado em consideração visando garantir a boa qualidade do sinal recebido.

V. COMENTÁRIOS FINAIS

Apresentou-se um modelo analítico exato no domínio da frequência que permite verificar os efeitos da dispersão cromática da fibra óptica no desempenho de um enlace de comunicação fotônico na transmissão de sinais de RoF modulados digitalmente. O efeito da dispersão acumulada deve ser um parâmetro de projeto para garantir a qualidade do sinal digital recebido.

Considerou-se a modulação em intensidade e detecção direta (IM-DD) através de dispositivos fotônicos, com um modulador eletro-óptico externo integrado do tipo Mach-Zehnder com dupla excitação (DD-MZM) e um fotodetector (PD). Neste estudo, mostraram-se a forma de geração de sinais BPSK em banda passante e a recepção com detecção coerente, no domínio elétrico. Utilizou-se a análise gráfica do diagrama de olho para avaliar o desempenho do sistema.

As previsões teóricas da modelagem foram corroboradas através dos resultados das simulações numéricas com o programa computacional OptiSystem. Observou-se que a modulação OSSB é menos sensível ao efeito da dispersão cromática da fibra, comparada com a ODSB. Estes resultados permitem auxiliar o projeto dos modernos sistemas de comunicação de alta capacidade e de longas distâncias.

Estão sendo realizados estudos para incluir na modelagem as descrições analíticas das formas de onda de outros formatos avançados de modulação digital. Será avaliado o desempenho do sistema através de outras figuras de mérito, como a probabilidade de erro de bit, levando em consideração os efeitos provocados pelas fontes de ruído.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Yao, “A tutorial on microwave photonics I,” *IEEE Photonics Society Newsletter*, vol. 26, no. 2, pp. 4-12, April 2012.
- [2] J. Yao, “A tutorial on microwave photonics II,” *IEEE Photonics Society Newsletter*, vol. 26, no. 3, pp. 5-12, June 2012.
- [3] J. Capmany, P. Munoz, “Integrated Microwave Photonics for Radio Access Networks,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 16, pp. 2849-2861, August 2014.
- [4] K. Kitayama, A. Hiramatsu, M. Fukui, T. Tsuritani, N. Yamanaka, S. Okamoto, M. Jinno, M. Koga, “Photonic Network Vision 2020 - Toward Smart Photonic Cloud,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 16, pp. 2760-2770, August 2014.
- [5] W. Li, W. T. Wang, N. H. Zhu, “Photonic Generation of Radio-Frequency Waveforms Based on Dual-Parallel Mach-Zehnder Modulator,” *IEEE Photonics Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 1-8, June 2014.
- [6] A. A. Ferreira Júnior, J. A. J. Ribeiro, R. H. Souza, N. A. Roso, O. L. Coutinho, J. E. B. Oliveira, “Large Signal Analysis of Photonic-Assisted Millimeter Wave Upconversion Using Mach-Zehnder Modulators,” in *16º SBMO e 11º CBMag – MOMAG 2014*, pp. 518-523, 2014.
- [7] Y. Gao, A. Wen, Q. Yu, N. Li, G. Lin, S. Xiang, L. Shang, “Microwave Generation With Photonic Frequency Sextupling Based on Cascaded Modulators,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 26, no. 12, pp. 1199-1202, June 2014.
- [8] R. Q. Shaddad, A. B. Mohammad, S. A. Al-Gailani, A. M. Al-Hetar, “Optical Frequency Upconversion Technique for Transmission of Wireless MIMO-Type Signals over Optical Fiber,” *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1-14, 2014.
- [9] Y. Zhang, F. Zhang, S. Pan, “Optical Single Sideband Modulation With Tunable Optical Carrier-to-Sideband Ratio,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 26, no. 7, pp. 653-655, April 2014.
- [10] Q. Huang, P.-C. Peng, S.-F. Fu, W.-Y. Yang, J.-H. Huang, H. H. Yee, “Double Sideband With Optical Carrier Suppression Scheme for Broadcasting Transmission,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 26, no. 12, pp. 1172-1175, June 2014.
- [11] R.-J. Essiambre, G. Kramer, P. J. Winzer, G. J. Foschini, B. Goebel, “Capacity Limits of Optical Fiber Networks,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 28, no. 4, pp. 662-701, February 2010.
- [12] A. H. Gnauck, P. J. Winzer, “Optical phase-shift-keyed transmission,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 115-130, January 2005.
- [13] J. C. Cartledge, A. S. Karar, “100 Gb/s Intensity Modulation and Direct Detection,” *Journal of Lightwave Technology*, vol. 32, no. 16, pp. 2809-2809, August 2014.
- [14] J. L. Corral, J. Martí, J. M. Fuster, “General expressions for IM/DD dispersive analog optical links with external modulation or optical up-conversion in Mach-Zehnder electrooptical modulator,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 10, pp. 1968-1976, October 2001.
- [15] L. Cheng, S. Aditya, A. Nirmalathas, “An Exact Analytical Model for Dispersive Transmission in Microwave Fiber-Optic Links Using Mach-Zehnder External Modulator,” *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 17, no. 7, pp. 1525-1527, July 2005.
- [16] C. Lim, A. Nirmalathas, M. Bakaul, K.-L. Lee, D. Novak, R. Waterhouse, “Mitigation strategy for transmission impairments in millimeter-wave radio-over-fiber networks,” *Journal of Optical Networking*, vol. 8, no. 2, pp. 201-214, February 2009.
- [17] Optiwave Systems Inc. Disponível em: <http://optiwave.com>
- [18] A. A. Ferreira Jr., O. L. Coutinho, C. S. Martins, W. S. Fegadolli, J. A. J. Ribeiro, V. R. Almeida, J. E. B. Oliveira, “Effect of Fiber Optic Chromatic Dispersion on the Performance of Analog Optical Link with External Modulation Aiming at Aerospace Applications,” *Journal of Aerospace Technology and Management*, vol. 5, no. 2, pp. 205-216, April-June 2013.
- [19] G. P. Agrawal, “Fiber-Optic Communication Systems,” 4th ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [20] D. A. Guimarães, R. A. A. Souza, “Transmissão Digital: Princípios e Aplicações,” São Paulo: Érica, 2012.
- [21]
- [22] L. N. Binh, “Guided Wave Photonics,” Boca Raton: CRC Press, 2012.

Antenas Inteligentes (Smart Antennas)

Adelson Ângelo Julião Malichi

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
adelsonm@get.inatel.br

Carlos Augusto Rocha

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
caugusto@inatel.br

Vinicius Luiz Gaspar

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
viniciusluiz@gee.inatel.br

Resumo— Os sistemas de Antenas Inteligentes são aplicáveis à maioria dos protocolos e padrões das redes sem fio, necessitando apenas de algumas modificações para a plena implantação.

A qualidade do serviço sem fio é ampliada principalmente devido aos seguintes fatores: redução do efeito da interferência sobre a transmissão e aumento das taxas de envio e recebimento de dados, e a expansão do alcance do sinal através de sistemas inteligentes.

Palavras chave—Algoritmos adaptativos, antenas inteligentes, CDMA, FDMA, OFDMA, TDMA e sistemas MIMO.

I. INTRODUÇÃO

Antena é uma estrutura capaz de irradiar uma onda eletromagnética para o meio ou receber essa onda em um ambiente de propagação. Os sistemas de comunicação convencional de transmissão funciona com uma antena irradiando o sinal para outras antenas receptoras. A grande desvantagem é a perda considerável da potencia transmitida devido à radiação do sinal em vários ângulos ou direções, que por outro lado não são detectados, ou então não existe nenhum terminal móvel para a recepção do mesmo, podendo causar interferência em outros sistemas de comunicação. [1]

O sistema de antenas inteligentes (“*smart antennas*”) consiste de uma rede de antenas combinada com um processamento de sinal no espaço e no tempo. Este conceito não é novo nas áreas de radar e de tecnologia aeroespacial, mas só mais recentemente esses sistemas têm sido aplicado a comunicação móvel, com o objetivo de resolver problemas tais como limitação de largura de faixa do canal, melhoria de desempenho por aumento da capacidade do canal, extensão de cobertura, criação de múltiplos feixes para atingir vários terminais móveis, e redução de desvanecimento multipercorso. Pode-se também determinar a direção de chegada dos sinais incidentes.

Os efeitos multipercursos podem ser reduzidos com uma rede capaz de formar feixes em certas direções e nulos de radiação em outras. Na transmissão, a rede focaliza energia na direção desejada. No modo recepção, compensa o

desvanecimento multipercorso somando sinais de outros setores após compensação de atrasos, e também cancelando sinais atrasados vindos de direções diferentes daquela do sinal desejado. Mas a característica mais importante das antenas inteligentes é a capacidade de cancelar interferência co-canais, dirigindo um feixe na direção do sinal desejado e nulo na direção de outros receptores. [2]

Tais redes de antenas são adaptativas, no sentido de que suas características se adaptam dinamicamente a situações específicas, e são potencialmente indicadas para se combater os efeitos de interferência em sistemas de comunicação, levando-se em conta sua habilidade de direcionar eletronicamente o lóbulo principal de radiação para qualquer direção e simultaneamente colocar nulos em direções específicas das fontes de interferência. Como nos sistemas celulares as limitações de capacidade e alcance são ditadas principalmente pelas interferências entre sistema, a diminuição destas implica num ganho operacional significativo. Com esta finalidade, os sistemas móveis de nova geração incluem recursos específicos para operação com antenas inteligentes, como por exemplo, os sistemas MIMO (*multiple input, multiple output*), OFDMA(*Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access*) e a detecção coerente de piloto auxiliar. [3]

A. Objetivo

O presente trabalho visa analisar os resultados dos estudos sobre antenas inteligentes, desde a inserção do sinal no equipamento de RF até a sua transmissão. A ideia fundamental numa rede inteligente é usar a informação disponível a partir dos vários elementos da rede de antenas a qual, devidamente processada, permite adaptar o diagrama de radiação, através do controle de amplitudes e fases, para a situação desejada. Para isto é normalmente exigido um sinal de referência, um sinal de treinamento, ou a direção de chegada do sinal desejado. As antenas inteligentes utilizam uma rede cujos elementos são antenas de baixo ganho que são conectadas a um dispositivo de combinação.

II. CARACTERÍSTICAS DA ANTENAS INTELIGENTES

Antenas inteligentes são antenas que modificam seu diagrama de radiação durante sua operação de acordo com um determinado critério, dependendo da aplicação. As antenas inteligentes são úteis em sistemas de comunicações que estão sujeitas a interferências, pois elas podem mudar seu diagrama de radiação, automaticamente, em resposta à mudanças na direção do sinal, criando ganhos maiores nas direções desejadas e menores nas direções interferentes, sempre de maneira a maximizar a relação sinal-ruído. O uso de antenas inteligentes torna o sinal menos sensível aos desvanecimentos, interferências co-canal e interferências devido à multipercursos de propagação. [4]

Uma matriz de antenas pode ser vista como um sistema de diversidade espacial. Os primeiros sistemas eram analógicos e alguns dos esquemas de adaptação são formas típicas de processamento em sistemas de diversidade, como combinação por seleção (escolha do sinal com maior sinal-ruído) ou por máxima razão (pesos proporcionais ao sinal ruído).

Com o desenvolvimento da tecnologia de processamento digital, esta tecnologia passou a ser usada nas antenas adaptativas. Neste caso, os sinais provenientes das antenas são previamente digitalizados antes de entrar no combinador, que passa a ser um processador digital. Em relação aos algoritmos de processamento digital, existe um vasto conjunto de possibilidades. [5]

Antenas inteligentes podem ser vistas também como filtragem espacial adaptativa e assim algoritmos desenvolvidos em outras aplicações como, por exemplo, a equalização.

Dentro do contexto de antenas inteligentes, o termo “ANTENAS” tem um significado bastante amplo. Este consistirá de um grupo de elementos irradiantes, uma rede ou circuito combinador e finalmente uma unidade de controle. Esta unidade de controle pode ser identificada como bloco inteligente, implementada através de um processador digital de sinais.

O processador faz o controle dos parâmetros da matriz de antenas baseada nos diversos sinais de entrada, tendo como propósito principal a otimização do enlace de comunicação.

Diferentes critérios de otimização podem ser utilizados de acordo com níveis de inteligência. Podemos definir os níveis de inteligência a partir de 3 técnicas distintas de implementação representadas pela figura a seguir:

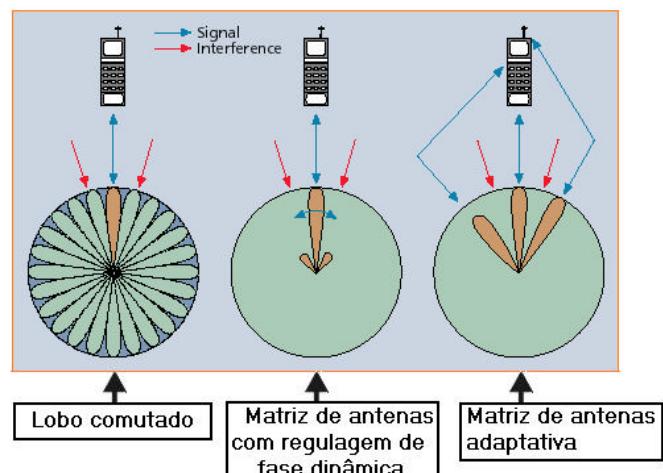


Fig. 01. Método de implementação de antenas adaptativas[4]

A. Lobo comutado

Sendo a mais simples, esta técnica contém somente uma função básica de comutação entre antenas direcionais independentes ou os feixes pré definidos de matriz de antenas. O ajuste escolhido é aquele que produz a maior performance em termos de potência recebida. Devido a alta diretividade comparada a uma antena convencional, certo ganho é atingido.

B. Matriz de antenas com regulagem de fase dinâmica:

Nesta técnica a adaptação consiste apenas no ajuste da fase dos sinais provenientes das diversas antenas transmissoras. Pois nessa técnica as antenas inteligentes anulam o sinal interferente alterando a sua fase, causando uma defasagem entre os sinais desejados e os interferentes.

C. Matriz de antena adaptativa

Esta técnica é mais completa, em que os sinais são modificados em amplitude e fase antes de serem combinados, de acordo com o algoritmo adequado. Naturalmente o desempenho das técnicas aumentam de acordo com a complexidade. [4]

III. ALGORITMO DAS ANTENAS INTELIGENTES

Com relação às antenas adaptativas desenvolveram-se modelos das estruturas e respostas dos sistemas que depende da combinação dos coeficientes. A determinação destes coeficientes é crucial para a operação eficiente dos sistemas, e como o ambiente é extremamente variável deve ser feita de forma adaptativa. A seguir procuraremos mostrar algumas arquiteturas. Estas estão ligadas ao critério de otimização adotado e ao tipo de sistema a que se aplicam.

Existem vários algoritmos de adaptação de antenas. Dentro destes, iremos escolher apenas dois que são os mais utilizados. O algoritmo adaptativo com sinal de treinamento e os

algoritmos adaptativos cegos. A figura abaixo demonstra uma classificação mais detalhada dos algoritmos. [7]

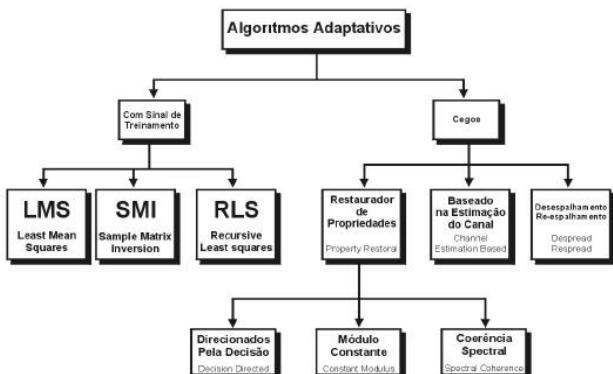


Fig. 02. Estrutura de classificação dos algoritmos [4]

- **Algoritmo LMSO** - algoritmo(Least-Mean Square), criado por Widrow e Hoff (1960), é um algoritmo simples também conhecido como algoritmo do gradiente estocástico. Ele pode ser visto como a forma recursiva de obter os valores dos coeficientes de um filtro transversal que minimizam o erro médio quadrático entre o valor do sinal desejado e seu valor na saída do filtro.
- **Algoritmo RLS** -O algoritmo RLS (Recursive Least Square) é, tal como o LMS, um algoritmo para obtenção de coeficientes ótimos de um filtro transversal que minimizam o erro médio quadrático entre o valor do sinal desejado e seu valor na saída do filtro. Porém, neste caso a média é uma média temporal definida sobre as amostras prévias do erro e não uma média estatística definida sobre o espaço amostra da variável aleatória.
- **Algoritmo SMI** –O algoritmo SMI (Sample Matrix Inversion) utiliza uma técnica diferente daquela empregada pelo LMS. Ao invés de fazer um ajuste amostra a amostra, ele faz uma adaptação bloco a bloco do vetor de pesos. Para isso, é feita uma estimativa média da matriz auto correlação e do vetor correlação cruzada dentro de um intervalo de observação. A fim de seguir as alterações do canal de transmissão, novos pesos vão sendo calculados dentro de sucessivos intervalos de observação, até o fim do período de treinamento. É possível concluir, então, que o parâmetro fundamental de desempenho desse algoritmo é o tamanho do bloco de dados em cada intervalo.[10]
- **Algoritmos cegos** –Levando-se em conta que o sinal de referência nem sempre estará disponível de forma exata, o que consequentemente redundará em sua obtenção de forma imperfeita através de algum tipo de estimativa, surge então, como alternativa para contornar a dificuldade de obtenção deste sinal, uma classe bastante ampla de métodos de filtragem adaptativa conhecida como filtragem cega ,ou o

algoritmo cego. Sua origem tem sido creditada por Guerra [4] no contexto de equalização de sinais para transmissão digital. O problema básico na equalização cega é determinar os parâmetros do filtro adaptativo sem o sinal de referência. Entretanto, algum tipo de informação sobre este sinal será necessária. Com relação ao trabalho de Guerra [4] e outros, esta informação está relacionada a propriedades do sinal digital. De acordo com a modulação digital empregada, o sinal digital apresenta certas propriedades que independem dos bits transmitidos. Em um sinal PSK-4, por exemplo, o momento de quarta ordem, independe da fase transmitida. Uma outra propriedade observada por algumas modulações é o módulo constante do sinal transmitido, como no caso dos sinais com modulação de fase e frequência.

IV. CONCLUSÕES

Os sistemas de Antenas Inteligentes utilizam vários protocolos e padrões das redes sem fio, necessitando apenas de algumas modificações para a plena implantação.

Vale ressaltar que a tecnologia das Antenas Inteligentes é capaz de melhorar significantemente o desempenho dos sistemas de comunicação baseados em redes sem fio, considerando um grupo de usuários em potencial. Com o uso das antenas, é possível que celulares, pontos de acesso sem fio e outros aparelhos do gênero consigam obter valores mais altos para a qualidade do sinal, aumentando a capacidade e a área de cobertura de transmissão no meio. Pode se observar as seguintes vantagens do sistema:

- **Possibilidade de uso por um número maior de usuários** - devido ao fato das antenas inteligentes direcionarem a transmissão para alvos específicos, as frequências podem ser utilizadas por mais de um usuário. E um número maior de usuários na mesma frequência representa menor custo de operações pelo provedor, no que diz respeito à manutenção de diversas faixas de frequência;
- **Campo de alcance do sinal se amplia** - como as antenas inteligentes procuram o ganho no aparelho que executa a comunicação, o alcance da transmissão aumenta. Esse aumento do alcance gera uma economia no que diz respeito à quantidade de antenas menos eficientes que seriam necessárias para fornecer a mesma área de cobertura;
- **Determinação da posição geográfica** - as antenas inteligentes trabalham com sinais direcionados a alvos bem definidos. Dessa maneira, é possível descobrir com considerável precisão onde determinado aparelho está posicionado. Esse dado

- permite que novas utilidades sejam adicionadas a esses aparelhos, tais como serviços de emergência guiada e informações de localidades;
- **Segurança** - a condição de não enviar o sinal em todas as direções ao seu redor já representa um fator de segurança para as antenas. Para se tentar interceptar um sinal em particular, seria necessário estar no mesmo lugar que a antena receptora ou em algum outro ponto entre as antenas emissora e receptora;
 - **Menor Interferência** - a interferência costuma ser causada, principalmente, pela irradiação do sinal em todas as direções. Como as antenas inteligentes utilizam sinais com direção definida(maior ganho no lóbulo principal e nulo nas demais direções), a interferência cai consideravelmente, além de possibilitar o reuso da faixa de frequência e aumentar o campo de alcance do sinal.
 - **Maior Largura de Banda** - essa vantagem é uma consequência da reutilização das faixas de frequências por mais de um usuário. A banda disponível acaba sendo utilizada por uma quantidade maior de usuários;
 - **Fácil integração e implementação** - antenas inteligentes não são um novo padrão ou protocolo. Assim, as antenas podem ser implementadas a partir de aparelhos e antenas comuns.

REFERÊNCIAS

- [1] José A. J. Ribeiro. ENGENHARIA DE ANTENAS: PROJETOS E APLICAÇÕES. 1ª Edição, Ed. São Paulo: Erica,2012.
- [2] Balanlis A. Constantine. Teoria de Antenas:Analise e síntese.3ª Edição, vol. 1, tradução e revisão técnica J. R. Souza. - Rio de Janeiro: LTC,2009.
- [3] Balanlis A. Constantine. Teoria de Antenas: ANALISE E SÍNTESE.3ª Edição, vol. 1, tradução e revisão técnica J. R. Souza. - Rio de Janeiro: LTC,2009.
- [4] Guerra, Mauricio Vilela. UTILIZAÇÃO DE ANTENAS ADAPTATIVAS EM SISTEMAS CDMA, Tese de Mestrado, PUC-RJ, 2001
- [5] – Faria, Vagner Vilela. ANTENAS ADAPTATIVAS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SEM FIO, Tese de mestrado, INATEL, Santa Rita do Sapucáí-MG, 2003.
- [6] Silva, Fabrício Gerônimo Simões. ANTENAS INTELIGENTES: Um Estudo sobre Conceitos e Propostas de Aplicações, Tese de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba-,2003
- [7] – ESTEVES, L. C. Antenas - teoria básica e aplicações. São Paulo: McGraw-Hill, 1980
- [8] Enlaces, Antenas e Propagação para Internet Sem Fio (Conceitos de Wireless), artigo científico, Eng. Wilton J. Fleming, Msc. Eng. Hélcio Aranha. Fonte: <http://www.betatelecom.com.br/img/pdf/BT274605Abranetartigo.pdf>
- [9] Osorio, Alexandre Freire da Silva. ANTENAS ADAPTATIVAS: CONCEITOS E APLICAÇÕES EM COMUNICAÇÕES MOVEIs, Tese de Mestrado, Julho de 1998, Campinas -SP, Brasil.
- [10] Junior. Francisco Carlos Ribeiro. ARRANJOS DE ANTENAS ADAPTATIVAS EM SISTEMAS OFDMA: UM COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS DE FILTRAGEM PRÉ E PÓS-FFT. Trabalho de conclusão de curso (TCC) da graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, 2º semestre de 2009.

Implementação de rotina em MATLAB para simulação no projeto de antenas

Daniel Rodrigues Ferraz Izario Pedro Henrique Leite Silva Telles Carlos Nazareth Motta Marins

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
danielrodrigues@gec.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
pedrotelles@gec.inatel.br

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
carlosn@inatel.br

Resumo - A proposta deste trabalho consistiu em apresentar o desenvolvimento e o uso de rotina de cálculo desenvolvida no MATLAB para a aplicação em modelagem e simulação no projeto de antena dipolo. A rotina computacional foi desenvolvida com o objetivo de permitir ao usuário a análise do diagrama de radiação, do casamento de impedância, da impedância de entrada e do ganho da antena dipolo.

Palavras chave—Antena dipolo, MATLAB, Simulação

I. INTRODUÇÃO

Para se projetar uma antena é necessário realizar um processo de modelagem e simulação de seu desempenho, utilizando o equacionamento teórico do modelo da antena a ser escolhido e, por meio de testes computacionais, escolher o projeto de antena que apresente os resultados mais próximos dos parâmetros reais, obtidos em dados obtidos da literatura pertinente ao assunto ou de dados práticos fornecidos por fabricantes.

Para este fim, é necessário que o engenheiro tenha conhecimento do tipo de antena que ele vai projetar, com o objetivo de se determinar o comprimento dessa antena, quantos módulos terá, entre outras características importantes.

Rotinas computacionais para aplicação de antenas normalmente são encontradas em softwares licenciados, onde o usuário tem que desembolsar uma quantia considerável por um pacote que possui os itens necessários para a simulação e projeto de antenas. Uma plataforma conhecida no mercado é a HFSS da empresa ANSYS.

No presente artigo, foi proposto o desenvolvimento de uma rotina de simulação dos parâmetros de antenas dipolo dentro do MATLAB, ferramenta do serviço *Mathworks*, muito popular e de uso difundido na engenharia. Os resultados dos principais parâmetros de análise da antena dipolo são apresentados, assim como alguns gráficos gerados pela rotina no MATLAB são exibidas.

II. DEFINIÇÃO DE ANTENA

Antena é definida pelo IEEE como um meio capaz de irradiar ou receber ondas de rádio.

As antenas conseguem transportar em uma linha de transmissão a energia eletromagnética gerada por um

dispositivo e passa-la numa forma irradiada. Esta forma irradiada pode ser recebida por outra antena ou o inverso, a outra antena pode gerar outra onda eletromagnética e fazer o inverso.

Existem vários tipos de antenas, cada uma com uma estrutura diferenciada que afeta na forma de onda dessa energia que vai ser transmitida e usada para uma aplicação. O tipo de antena utilizada neste trabalho que foi utilizada para a simulação e análise de projeto foi a antena dipolo, definida no item a seguir.

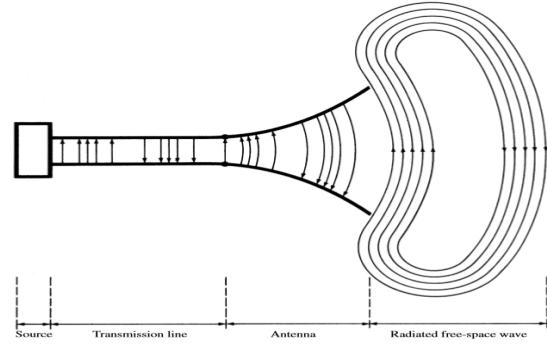


Fig. 1.Um exemplo de transmissão de energia de uma antena, retirado de [1].

A. Antena Dipolo

Esta antena consiste de dois condutores, cuja largura possui um tamanho que depende da frequência. No caso, a antena trabalhada nesse artigo é a antena dipolo de meia-onda [2], onde o comprimento dos condutores da mesma equivale a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda e sua transmissão de energia é emitida perpendicularmente em relação aos dois condutores sem que a energia seja emitida no sentido da posição do elemento.

III. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA E RESULTADOS DOS PARÂMETROS DAS ANTENAS DIPOLOS COM FREQUÊNCIAS DIFERENTES

O MATLAB é uma ferramenta computacional utilizada para a modelagem e simulação, onde a partir de um modelo matemático é gerado resultados que são apresentados no

computador desde um número até o comportamento de um gráfico.

Além disso, nesta ferramenta é possível criar modelos de circuitos elétricos utilizando licenças pagas.

Com isso, a partir do uso da mesma, foi criada uma interface que trabalhasse com rotinas relacionadas a teoria de ondas eletromagnéticas e a teoria de antenas.

A interface foi trabalhada com a aplicação de um tipo de antena (Dipolo) com seus principais parâmetros de entrada e saída.

A figura 2 apresenta a interface criada, onde as caixas de texto e as opções de condição de ressonância são parâmetros de entrada e ao pressionar um dos botões é gerado um gráfico que apresenta a impedância de entrada, coeficiente de reflexão e perda por retorno em relação a uma faixa de banda, por exemplo.

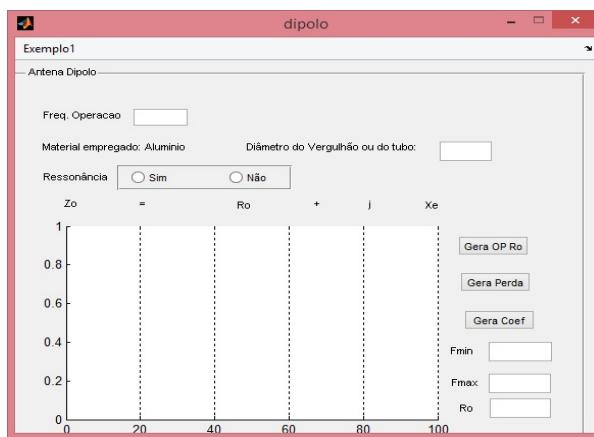


Fig. 2.Exemplo da interface da antena dipolo

A. Estudo da Antena Dipolo

A primeira parte a ser analisada para essa antena foi o tipo de dipolo que iria ser utilizado para fazer a análise. Existem vários tipos, mas a mais comum é a antena dipolo de meia onda. A partir disso, foi selecionado esse tipo de antena.

Para iniciar o projeto de uma antena, o primeiro e principal parâmetro necessário é a frequência (f) de operação. A partir dela, define-se o comprimento de onda [3] conforme a equação (1).

$$\text{Comprimento de onda} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo

Utilizando o equacionamento apresentado por Justino Ribeiro, e considerando que inicialmente não se aplique a condição de ressonância, o comprimento total (l) dessa antena dipolo de meia onda será a metade do comprimento de onda.

Comprimento de onda

$$l = \frac{\text{Comprimento de onda}}{2} \quad (2)$$

Caso aplique a condição de ressonância, a antena terá um comprimento diferente da metade do comprimento de onda (l), conforme a equação (3) a seguir.

$$l = \frac{\text{Comprimento de onda}}{2} \left\{ 1 + \frac{0.3188}{0.7904 \ln(\text{Comprimento de onda}/2a) + 0.2188 (\ln(\text{Comprimento de onda}/2a))^2} \right\} \quad (3)$$

Sendo a , a variável do raio da dipolo.

Definida a frequência de operação e o comprimento de onda, é possível encontrar a impedância de entrada da antena, o coeficiente de reflexão, a perda por retorno e o ganho.

A impedância de entrada do dipolo é deduzida pelas equações (4) a (8). Estas equações são a parte real (R) e a parte imaginária (Xe) da impedância na equação (14).

$$S(kL) = \text{Cm}(2kL) + \frac{1}{2}[2\text{Cm}(2kL) - \text{Cm}(4kL)]\cos(2kL) + \frac{1}{2}[\text{Si}(4kL) - 2\text{Si}(2kL)]\sin(2kL) \quad (4)$$

$$T(kL) = [2\ln(v_1/u_1) + \ln(u_2/v_2) + 2\text{Cm}(u_1) - 2\text{Cm}(v_1) + \text{Cm}(v_2) - \text{Cm}(u_2)]\sin(2kL) - [2\text{Si}(u_1) - 2\text{Si}(u_2) + 2\text{Si}(v_1) - \text{Si}(v_2) - \text{Si}(u_2)\cos(2kL) - 2[\text{Si}(u_1) - 2\text{Si}(u_2) + \text{Si}(v_1)] \quad (5)$$

$$k = \frac{2\pi}{\text{Comprimento de onda}} \quad (6)$$

$$R = 0.09(kL) \quad (7)$$

$$Xe = -80T(kL) \quad (8)$$

Onde k , é uma variável utilizada pelas equações (4),(5),(7) e (8), e é uma constante calculada pela equação (6) e L é a metade do comprimento da dipolo de meia onda que pode ou não estar numa condição de ressonância.

As variáveis u_0, u_1, u_2, v_1 e v_2 utilizadas na equação (5) são equações reduzidas representadas pelas equações (9), (10), (11), (12) e (13).

$$u0 = ka \quad (9)$$

$$u1 = k \left(\sqrt{\left(L^2 + \left(\frac{c}{f} \right)^2 \right)} - L \right) \quad (10)$$

$$v_2 = k \left(\sqrt{\left((2L)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \right)} - 2L \right) \quad (11)$$

$$v_1 = k \left(\sqrt{\left(L^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \right)} + L \right) \quad (12)$$

$$v_2 = k \left(\sqrt{\left((2L)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2 \right)} + 2L \right) \quad (13)$$

Onde k é a mesma constante representada pela equação (6) só que calculada pelas frequências que estão ao redor da frequência de operação e L é o raio da dipolo, isso é metade do comprimento da dipolo.

$$Z_m = R + jX_m \quad (14)$$

A parte real dependerá apenas da frequência e do comprimento de cada condutor ($L=l/2$) onde seu valor precisa ser próximo de 73.13Ω , sem a condição de ressonância. A parte imaginária depende do raio (representado pela letra a e sua unidade em metros) dos tubos (ou vergalhões) que serão utilizados para a construção da antena.

Dada uma faixa de frequência que tenha a frequência de operação podemos deduzir o comportamento do ganho, do coeficiente de reflexão, a perda por retorno. Essas saídas são calculadas a partir dos dados obtidos anteriormente e apresentados nos resultados nas tabelas e gráficos abaixo.

TABELA I

RESULTADOS DE TESTES PARA O GANHO DA DIPOLO SEM CONDIÇÃO DE RESSONÂNCIA

Dados de entrada do usuário		Dados Calculados		
Frequência de Operação(MHz)	$l(cm)$	$L(cm)$	$Zin(ohm)$	Ganho(dB)
100	150	75	$73.13+j42.0$	2.15
200	75	37.5	$73.13+j41.3$	2.15
300	50	25	$73.13+j41.0$	2.15
500	30	15	$73.13+j39.4$	2.15
600	25	12.5	$73.13+j38.8$	2.15
700	21.4	10.7	$73.13+j38.2$	2.15

A tabela 1 representa os dados gerados pela rotina da dipolo de meia onda sem a condição de ressonância. Conforme apresentado, a parte real tende a 73 ohms e a parte imaginária varia em função da frequência. O ganho apresentado é fixo, pois é calculado em relação a parte real da impedância. Já o comprimento da antena(l) e o raio da dipolo(L) são constantes.

TABELA 2
RESULTADOS DE TESTES PARA O GANHO DA DIPOLO COM CONDIÇÃO DE RESSONÂNCIA

Dados de entrada do usuário		Dados Calculados		
Frequência de Operação(MHz)	$l(cm)$	$L(cm)$	$Zin(ohm)$	Ganho(dB)
100	142.6	71.3	$62.73+j0.31$	2.11
200	70.6	35.3	$61.1+j0.15$	2.11
300	46.8	23.4	$59.94+j0$	2.10
500	27.8	13.9	$58.18+j0.2$	2.09
600	23	11.5	$57.46+j0.26$	2.09
700	19.6	9.8	$56.79+j0.29$	2.08

A tabela 2 apresenta os resultados da dipolo de meia onda com a condição de ressonância. Ao aplicar essa condição, a parte imaginária tende a zero e a parte real é variável em relação a frequência. Já o ganho tende a condição sem ressonância, mas nunca chega com o mesmo valor. Já o comprimento da antena(l) e o raio da dipolo(L) são constantes.

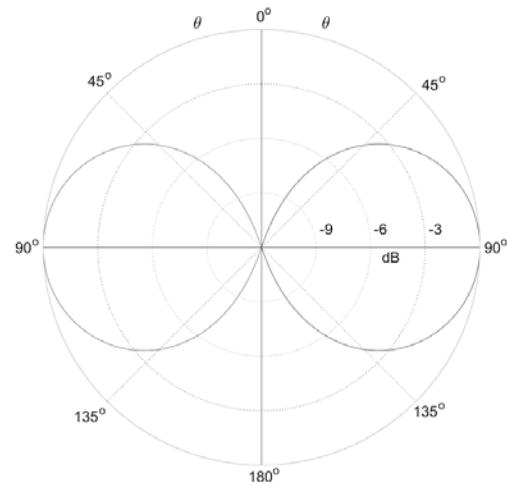


Fig. 3. Diagrama de irradiação de uma antena dipolo de 0.5 comprimento de onda.

A figura 3 mostra a forma da irradiação da antena dipolo de meia onda sem a condição de ressonância.

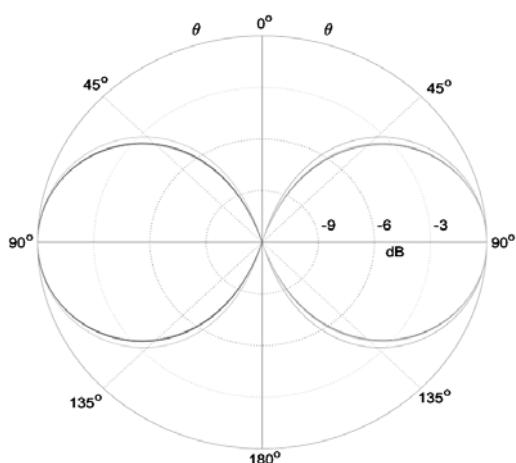


Fig. 4. Diagrama de irradiação de uma antena dipolo de 0.48 comprimentos de onda.

A figura 4 mostra a forma em que a antena dipolo de meia onda com a condição de ressonância é irradiada.

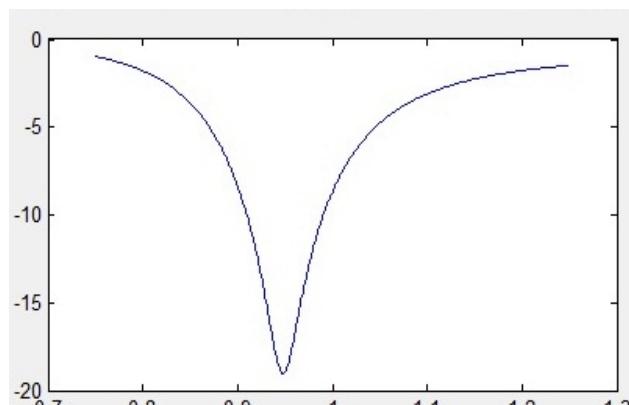


Fig. 5. Perda por retorno numa faixa de 75-125 MHz com frequência de operação 100 MHz.

A figura 5 mostra a perda por retorno gerada pelo casamento de impedância para a antena dipolo sem a condição de ressonância.

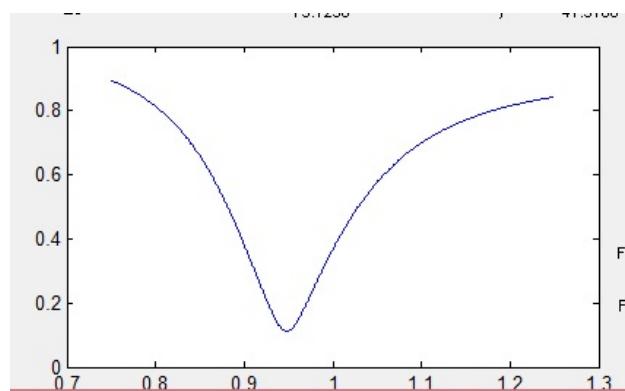


Fig. 6. Coeficiente de reflexão numa faixa de 75-125 MHz com frequência de operação 100 MHz

A figura 6 mostra o coeficiente de reflexão do casamento de impedância para a antena sem a condição de ressonância.

IV. CONCLUSÕES

Através de uma ferramenta computacional, pode se desenvolver um programa que trabalhe com um projeto voltado a aplicação em antenas. Conforme apresentado os resultados da antena dipolo de meia onda, a ferramenta Matlab faz uma boa aproximação da realidade do funcionamento de uma antena real. Assim como a rotina fez os cálculos corretos dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- [1] BALANIS, Constantine A. **Antenna theory: analysis and design**. 2. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 1997.
- [2] RIBEIRO, José Antônio Justino. Engenharia de antenas: fundamentos, projetos e aplicações. 1. ed. São Paulo, SP: Editora Érica, 2012,pp.222-228.
- [3] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert (ed.), Fundamentos de física 4: ótica e física moderna, 8 ed., rio de janeiro, rj: ltc, 1996. v. 8, cap. 33.

Avaliação dos efeitos da Dupla Transformada de Walsh-Hadamard em Sistemas SC-FDMA com Canal Linear Seletivo em Frequência

Tatiane Escobar Alves ; Iracema Bonomini ; Guilherme Pedro Aquino

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

P.O. Box 05 - 37540-000

Santa Rita do Sapucaí - MG - Brazil

tatiane@gee.inatel.br / iracemaariel;guilhermeaquino@inatel.br

Abstract— This paper aims to investigate and present the effects of Double Walsh-Hadamard Transform (DWHT) in SC-FDMA systems in linear frequency selective channels. For this purpose, computer simulations are performed to analyze the performance in terms of symbol error rate of the techniques for single carrier techniques: SC-FDE and SC-FDMA, which will be compared with the analysis performed by implementing the WHT and DWHT in SC-FDE and SC-FDMA systems.

Index Terms— Double Walsh-Hadamard Transform; OFDM; SC-FDMA.

Resumo— Este artigo tem o objetivo de investigar e apresentar os efeitos da Dupla Transformada de Walsh-Hadamard (DWHT) em sistemas SC-FDMA em canais lineares seletivos em frequência. Para este propósito, simulações computacionais foram desenvolvidas para analizar o desempenho em termos da taxa de erro de símbolo para as técnicas baseadas na transmissão em portadora única: SC-FDE e SC-FDMA, nas quais serão comparadas com as análises feitas quando implementadas a WHT e DWHT nos sistemas SC-FDE e SC-FDMA.

Palavras Chave— Dupla transformada de Walsh-Hadamard; OFDM; SC-FDMA.

I. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos as redes móveis vêm evoluindo rapidamente com o intuito de atender à crescente demanda de usuários que exigem cada vez mais conectividade e qualidade de serviço. No Brasil, a tecnologia de rede mais recente que vem sendo adotada para ampliar os serviços de telefonia móvel e transmissão de dados é o LTE (*Long Term Evolution*) [1], conhecido também como sistema de comunicação de quarta geração (4G). Esta tecnologia promete oferecer altas taxas de transmissão para *downlink* (DL) e *uplink* (UL), baixa latência, largura de banda flexível e melhor aproveitamento do espectro de frequências [2].

Para que o LTE possa de fato oferecer os benefícios propostos, ele conta com uma interface aérea diferenciada, que tem como alicerce as tecnologias de múltiplo acesso OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) [3], que é baseado em OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [4] e, SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiplex Access*) [5], baseado no SC-FDE (*Single Carrier Frequency Domain Equalization*) [5]. Estas tecnologias permitem organizar o modo como os recursos do espectro serão

utilizados, de forma a obter alta eficiência de ocupação e alocação de um grande número de usuários, simultaneamente. As tecnologias OFDMA e SC-FDMA, apesar de exercerem a mesma função nos sistemas de transmissão e recepção do LTE, são empregadas em diferentes situações. O OFDMA é utilizado exclusivamente para serviços de downlink, ou seja, para a comunicação no sentido estação-terminal. Esta tecnologia atende a todos os requisitos necessários para o cumprimento das propostas do LTE, com exceção da baixa PAPR (*Peak-to-Average Power Ratio*) [4], que é um fenômeno indesejado que pode comprometer seriamente o desempenho do sistema. Os sistemas utilizados nas estações rádio base têm recursos para suportar os efeitos negativos provocados pela ocorrência da alta PAPR, no entanto, uma comunicação no sentido contrário, ou seja, terminal-estação, não tem suporte para isso, o que leva o LTE a utilizar SC-FDMA em enlaces de subida, já que esta tecnologia tem como característica uma baixa PAPR.

Buscando reduzir as distorções decorrentes da amplificação dos sinais, foram desenvolvidos alguns métodos que possibilitam diminuir a alta PAPR dos sinais OFDM. Dentre as técnicas mais comuns que permitem esta redução podem-se citar: SLM (*Selective Mapping*) [6], PTS (*Partial Transmission Sequence*) [7], Transformada de Walsh-Hadamard (WHT - *Walsh-Hadamard Transform*) [8] e Dupla Transformada de Walsh-Hadamard (DWHT - *Double Walsh-Hadamard Transform*) [9]. Neste artigo serão abordadas apenas as técnicas para a redução da PAPR, Transformada de Walsh-Hadamard e a Dupla Transformada de Walsh-Hadamard. Estudos têm mostrado que ambas podem reduzir a probabilidade de ocorrência de símbolos com alta PAPR em sistemas OFDM. Porém, o desempenho em termos de SER (*Symbol Error Rate*) do sistema que emprega a WHT é seriamente comprometido em canais não-lineares [9].

Um sistema baseado em SC-FDMA apresenta semelhanças com o esquema OFDM quando este último utiliza DWHT para a redução da PAPR, todavia, não há resultados a respeito dos efeitos provocados ao utilizar esta transformada nos sistemas SC-FDMA. Sabe-se que no OFDM a implementação desta técnica tem bons resultados e, promove uma melhora no

desempenho do sistema em relação à WHT convencional [10], sendo este resultado a motivação para realizar a análise em sistemas SC-FDMA utilizando a Dupla Transformada de Walsh-Hadamard.

Este artigo tem como objetivo avaliar os resultados obtidos através da simulação computacional de um esquema de transmissão baseado no SC-FDMA que utiliza a DWHT em conjunto com a FFT (*Fast Fourier Transform*) e IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) [11]. A proposta consiste em analisar o desempenho do novo sistema em termos de SER em canal linear seletivo em frequência e, compará-lo com o desempenho de um sistema SC-FDMA convencional. As simulações serão realizadas com o auxílio da ferramenta MATLAB R2009a.

Para cumprir este objetivo, o artigo está dividido em cinco seções, organizados da seguinte forma: a Seção II apresenta os princípios das técnicas OFDM e OFDMA, a Seção III apresenta os princípios das técnicas SC-FDE e SC-FDMA. A Seção IV apresenta os princípios da Dupla Transformada de Walsh-Hadamard, a Seção V apresenta a análise dos efeitos da Dupla Transformada de Walsh-Hadamard em sistemas baseados em SC-FDMA. Por fim, a Seção VI traz as conclusões e comentários finais deste trabalho.

II. PRINCÍPIOS DA TÉCNICA DE TRANSMISSÃO OFDM

A técnica OFDM vem sendo explorada para aplicações em sistemas cabeados, como ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) [15], ou em transmissões sem fio, como no LTE, isto devido às facilidades oferecidas por esta técnica, como o sistema de recepção de pouca complexidade e a ocupação mais eficiente do espectro.

Em uma transmissão OFDM, o espectro é subdividido em pequenas faixas de frequências denominadas subportadoras. Os sinais transmitidos sobre estas subportadoras são alocados ao longo de uma banda limitada do espectro, de forma compacta, sobrepostos uns aos outros. Esta sobreposição na frequência é proposital e não afeta a recepção correta do sinal. No OFDM, todas as subportadoras transmitidas apresentam ortogonalidade mútua, principal característica desta técnica.

Basicamente, a modulação OFDM é feita quando feixes do sinal de entrada, na forma paralela, multiplicam componentes de frequências ortogonais. Deste modo, para um símbolo OFDM com N subportadoras, necessita-se de N osciladores para gerar as frequências ortogonais. Os casos que necessitam de um grande número de subportadoras ($N > 64$) exigem muitos osciladores, o que causa o aumento considerável da complexidade dos circuitos de transmissão e recepção.

Um esquema de transmissão OFDM, como o representado pela Figura 1 [5], utiliza a IFFT para gerar as subportadoras moduladas a serem transmitidas, ao invés de usar osciladores. A transmissão OFDM se inicia quando b_k bits são modulados formando símbolos $c_n = i_n + j q_n$. Esses símbolos chegam à entrada do bloco IFFT na forma de feixes paralelos, convertidos pelo bloco serial/paralelo, que multiplicam subportadoras ortogonais, modulando-as. Estas subportadoras são somadas na saída do bloco IFFT, por fim, adiciona-se o prefixo cíclico. Assim, o símbolo OFDM já pode ser transmitido.

No sistema receptor, a FFT é utilizada para converter o sinal para o domínio da frequência, tornando possível a extração dos valores das subportadoras. O bloco paralelo/serial se encarrega de dispor a informação na forma serial, para dar início ao processo de demodulação e estimação de bits.

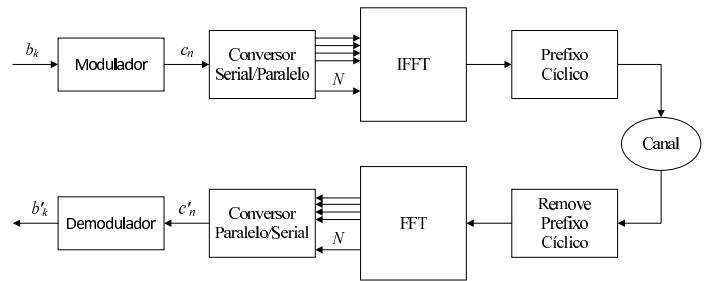


Fig. 1. Diagrama em blocos do transmissor e receptor do sistema OFDM.

Das vantagens da utilização do OFDM pode-se destacar a redução da interferência intersimbólica, que contribui diretamente para uma redução do processamento que o receptor faria para eliminar estas interferências. Pode-se citar também a alta eficiência espectral, alcançada através da sobreposição de subportadoras ortogonais no domínio da frequência e, a robustez frente a canais seletivos em frequência. Contudo, o OFDM apresenta uma grande desvantagem que é a ocorrência de altos valores de PAPR [19].

A. Multiplo acesso usando OFDM (OFDMA)

O OFDMA é um esquema de múltiplo acesso baseado em OFDM. Nesta técnica, a largura de banda do canal é partitionada em pequenas unidades de frequência em que uma subportadora ou mais podem ser atribuídas a um usuário. O OFDMA também utiliza a técnica de acesso TDMA (*Time Division Multiple Access*) [19], onde a transmissão ocorre dentro de pequenos intervalos de tempo, denominados time-slots. O recurso físico utilizado para a alocação dos usuários é denominado bloco de recurso, que é composto por pequenas unidades de tempo-frequência denominadas elemento de recurso. Cada elemento corresponde a uma subportadora OFDMA durante um período de tempo de símbolo, conforme ilustrado na Figura 2. Em um bloco de recurso, mais de uma subportadora pode ser alocada por usuário, ou seja, cada usuário pode utilizar mais de um elemento de recurso por instante de tempo [18]. Este esquema é utilizado em enlaces de downlink do LTE e permite que múltiplos terminais possam receber dados simultaneamente. Desta forma, o OFDMA permite ao LTE obter melhor eficiência espectral e alcançar altas taxas de transmissão. Esta técnica de múltiplo acesso herda as vantagens do OFDM, como proporcionar flexibilidade de espectro, evitar interferência intersimbólica e ser mais robusta frente a canais seletivos em frequência. Apesar de todas as vantagens e benefícios advindos da utilização do OFDMA para transmissão sem fio, esta técnica apresenta um empecilho que a torna inviável em enlaces de subida. Assim como ocorre no OFDM, os sinais de cada subportadora são transmitidos de forma independente, este comportamento

aumenta a probabilidade de que estes sinais cheguem em fase com a portadora gerada localmente, o que resulta em uma soma das amplitudes dos sinais, levando à formação de altos picos.

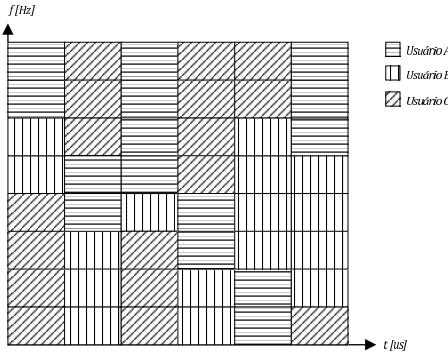


Fig. 2. Estrutura de múltiplo acesso da técnica OFDMA.

III. SINGLE CARRIER FREQUENCY DOMAIN EQUALIZATION

A propagação através de canais multipercorso está sujeita a sofrer com distorções lineares introduzidas pelo próprio canal. Para recuperar um sinal distorcido, utilizam-se equalizadores que são capazes de compensar os efeitos resultantes da propagação por múltiplos percursos [5]. A equalização do canal pode ser feita tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência. Entretanto, para canais com resposta ao impulso muito longa, isto é, alto valor de *rms delay spread*, a equalização no domínio do tempo exige maior processamento, o que torna esta solução praticamente inviável. Por outro lado, a equalização no domínio da frequência (FDE - *Frequency Domain Equalization*) é simples e eficaz, sendo assim, uma ótima escolha para equalização de canais com multipercorso [5].

A Figura 3 ilustra o esquema de transmissão e recepção SC-FDE. A geração de um sinal SC-FDE inicia-se com a formação de símbolos, no domínio do tempo, na saída de um modulador digital. Estes símbolos passam pelo conversor serial/paralelo e em seguida pela FFT. A FFT se encarrega de gerar as frequências das subportadoras a serem utilizadas na transmissão. Durante o processo de mapeamento, as subportadoras geradas são associadas a cada usuário durante um período de tempo. Após o mapeamento, utiliza-se a IFFT para representar os símbolos por meio de formas de onda de portadora única no domínio do tempo. Um conversor paralelo/serial é utilizado para dispor os símbolos na forma serial. Para que os blocos de portadora única não interfiram entre si, um Prefixo Cíclico é adicionado entre eles antes de transmiti-los.

No sistema de recepção, primeiramente o prefixo cíclico é removido do sinal de portadora única. Deste modo, toda a interferência proveniente da propagação por múltiplos percursos também será removida. Em seguida, o sinal passa novamente pela FFT, sendo convertido para o domínio da frequência.

Desta forma, é possível recuperar os valores das subportadoras utilizadas na transmissão.

O processo de demapeamento extrai os valores das subportadoras transmitidas. É neste processo que é possível identificar e separar os usuários envolvidos. Por fim, a IFFT transforma o sinal novamente para o domínio do tempo, para que ele possa ser convertido para a forma serial e demodulado.

Ao empregar SC-FDE, os amplificadores utilizados podem ser mais simples e eficientes do que seriam se usasse OFDM. Porém, a equalização do sinal SC-FDMA é mais complicada devido à alta taxa de sinalização. Ainda assim, esta técnica é altamente recomendada para enlaces de subida que requerem alta taxa de transmissão e baixa PAPR.

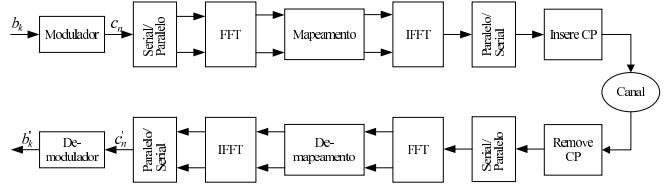


Fig. 3. Diagrama em blocos de um sistema de transmissão e recepção SC-FDE.

A. Múltiplo Acesso usando SC-FDE (SC-FDMA)

A técnica de múltiplo acesso que é utilizada no LTE em enlaces de subida deve atender aos requisitos propostos pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) [21], ou seja, transmissão utilizando frequências ortogonais, permitir alta taxa de dados e, principalmente, apresentar baixa PAPR. Estes requisitos podem ser preenchidos pelo OFDMA com exceção da baixa PAPR, motivo pelo qual, no LTE, utiliza-se a técnica de múltiplo acesso SC-FDMA no UL, como alternativa ao OFDMA.

Diferente do OFDMA, onde as subportadoras são moduladas independentemente umas das outras, no SC-FDMA os símbolos transmitidos no mesmo instante de tempo são modulados como se formassem um único sinal. Desta forma, todas as subportadoras transmitidas, dentro de um período de símbolo, carregam informações de cada símbolo modulado. Esta característica do SC-FDMA é fundamental para a redução da PAPR.

B. Mapeamento de símbolos no SC-FDMA

Durante o procedimento de transmissão, os símbolos emitidos pelas diversas fontes são alocados a diferentes subportadoras contidas dentro da banda de transmissão. No entanto, existem distintas maneiras para determinar como, por meio do processo de mapeamento, os símbolos serão associados às respectivas subportadoras. Estes modos são o LFDMA (*Localized Frequency Domain Multiple Access*) e o IFDMA (*Interleaved Frequency Domain Multiple Access*) [22].

Conforme apresentado pela Figura 4, no método IFDMA, os símbolos são distribuídos em subportadoras intercaladas, igualmente espaçadas, ao longo da banda de transmissão. Já no modo LFDMA, os símbolos modulados são alocados em

subportadoras vizinhas para serem transmitidos. Em ambos os casos, às subportadoras não utilizadas são atribuídos valores de amplitude iguais a zero.

A forma de alocar os símbolos de diferentes usuários às subportadoras tem forte influência no desempenho do sistema. Admitindo que a resposta em frequência do canal não seja plana, existirão sub-bandas que estarão susceptíveis à maior degradação em relação as outras. Sendo assim, o desempenho de um sistema depende de quais sub-bandas serão utilizadas para a transmissão e da localização dessas.

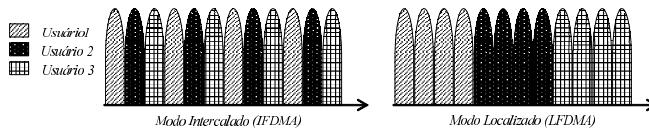


Fig. 4. Métodos de alocação de subportadoras no SC-FDMA.

Uma análise sobre o desempenho em termos de SER (*Symbol Error Rate*) devido à escolha do tipo de mapeamento pode ser vista em [23].

IV. DUPLA TRANSFORMADA DE WALSH-HADAMARD

A dupla transformada de Walsh-Hadamard (DWHT) foi proposta em [9] e é baseada na transformada de Walsh-Hadamard (WHT) [24]. As propriedades destas transformada permitem reduzir a PAPR de sinais OFDM, além de melhorar o desempenho desta técnica em canais seletivos em frequência.

A. Transformada de Walsh-Hadamard

A transformada de Walsh-Hadamard realiza a multiplicação do vetor de dados por uma matriz de Hadamard $N \times N$ e por uma constante $1/\sqrt{N}$. Esta constante mantém a energia do sinal transmitido inalterada.

Nos sistemas OFDM, a WHT pode ser empregada antes da IFFT no transmissor e, após a FFT no receptor. O vetor c_n , na forma paralela, compõe a entrada do bloco da WHT, que libera em sua saída um vetor S_n , representado por (1), resultante da multiplicação da sequência de entrada pela matriz de Walsh-Hadamard.

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{N}} c_n \cdot H_N, \quad (1)$$

onde H_N é a matriz de Walsh-Hadamard e é dada por

$$H_N = \begin{bmatrix} H_{N/2} & H_{N/2} \\ H_{N/2} & -H_{N/2} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

onde $N = 2^n$, para $n = 1, 2, 3, \dots$ e para $n = 0$, $H_1 = [1]$. É possível perceber que a matriz de Hadamard é discreta, assumindo apenas os valores -1 e +1, dispostos de forma com que todas as linhas e colunas sejam mutuamente ortogonais.

Ainda na transmissão, o vetor S_n é aplicado à entrada da IFFT gerando um símbolo de transmissão WHT-OFDM. Já no esquema de recepção, o sinal recebido passa pela FFT, onde é gerado um vetor R_n . Este vetor é inserido na entrada do bloco que corresponde à transformada inversa de Walsh-Hadamard

(IWHT - Inverse Walsh-Hadamard Transform) [24], onde ocorre a extração dos símbolos originalmente transmitidos. A IWHT pode ser calculada da mesma forma apresentada em (1), porém, substituindo c_n por R_n .

A utilização da Transformada de Walsh-Hadamard como proposta para redução da probabilidade de ocorrência da PAPR é interessante em sistemas de múltiplas portadoras, principalmente para canais com seletividade em frequência, pois apresenta um desempenho superior ao sistema convencional, entretanto, em canais não-lineares os resultados apontaram uma queda considerável no desempenho em relação ao sistema convencional quando há ceifamento de pico, por esta razão o uso da WHT não é recomendado para canais não-lineares [10].

Análises com relação ao WHT-OFDM e ao WHT-SC-FDMA são melhor exploradas em [23].

B. Dupla Transformada de Walsh-Hadamard

Visando aumentar o desempenho da técnica WHT-OFDM em canais não-lineares, uma nova matriz de Walsh-Hadamard modificada foi proposta para implementar o que seria uma nova Transformada de Walsh-Hadamard. Trata-se de uma técnica de redução de PAPR que permite que o desempenho resultante do sistema em canais não-lineares seja semelhante ao OFDM convencional. Esta nova transformada é denominada Dupla Transformada de Walsh-Hadamard [9].

A Dupla Transformada de Walsh-Hadamard utiliza uma nova matriz que se baseia na própria matriz de Hadamard (1), porém, com colunas algumas de suas colunas permutadas. Ou seja, são definidas duas matrizes de Hadamard, H_N^1 e H_N^2 , onde $H_N \neq H_N^1 \neq H_N^2$. A diferença entre as matrizes está na permutação de suas colunas. Desta forma, a DWHT, pode ser expressa por [9]

$$S_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \{(H_N^1)^T \Re e(S_n) + j(H_N^2)^T \Im m(S_n)\}, \quad (3)$$

enquanto que a dupla transformada inversa, IDWHT, é dada por

$$C_n = \frac{1}{\sqrt{N}} \{(H_N^1)^T \Re e(S_n) + j(H_N^2)^T \Im m(S_n)\}, \quad (4)$$

onde $(\cdot)^T$ denota a operação transposta de (\cdot) .

A Dupla Transformada de Walsh-Hadamard difere da WHT, principalmente, por utilizar matrizes com colunas permutadas. Os resultados das simulações para sistemas OFDM comprovaram que a implementação desta transformada torna o sistema multiportadoras mais robusto em canais não-lineares seletivos em frequência, além de reduzir a probabilidade dos altos picos serem ceifados [9]. Deste modo, conclui-se que a utilização da DWHT apresenta resultados melhores do que a WHT em sistemas de múltiplas portadoras por contribuir para o aumento do desempenho do sistema frente a canais não-lineares seletivos em frequência.

Os efeitos da dupla transformada de Walsh-Hadamard no sistema OFDM foram melhor explorados em [9][23].

V. ANÁLISE DOS EFEITOS DA DUPLA TRANSFORMADA DE WALSH-HADAMARD EM SISTEMAS SC-FDMA EM CANAIS LINEARES SELETIVOS EM FREQUÊNCIA

Os sistemas SC-FDMA são caracterizados por apresentar baixa PAPR e desempenho superior ao OFDM em canais seletivos em frequência. Explorando a semelhança entre os esquemas de transmissão DWHT-OFDM e SC-FDMA, vê-se a possibilidade de implementar as transformadas baseadas nas matrizes de Walsh-Hadamard também nos sistemas SC-FDMA, e com isso, buscar um melhor desempenho para o SC-FDMA em canais seletivos em frequência.

Esta seção apresenta novos esquemas que combinam a técnica de portadora única com WHT e DWHT, com o objetivo de observar os efeitos que estas transformadas inserem no desempenho do sistema.

A. Ambiente de Simulação

Para as simulações realizadas neste trabalho foram utilizados dois canais com perfis distintos, o canal Pedestre A (Ped. A) e Veicular A (Vei. A). As características de ambos estão representadas na Tabela I, baseada nos testes da ITU [26] para os ambientes terrestres. Diante dos dados apresentados, nota-se que o canal Pedestre A é caracterizado por inserir atrasos relativamente menores que o canal Veicular A.

A resposta em frequência para ambos os canais é apresentada na Figura 5. Analisando as respostas em frequência, nota-se que o canal Veicular A é mais seletivo em frequência do que o Pedestre A, ou seja, a atenuação provocada pelo canal pode ser mais intensa dependendo da frequência de propagação. Este comportamento ocorre porque o canal Veicular A apresenta valores de atrasos maiores que o canal Pedestre A. As linhas verticais presentes na Figura 5 delimitam as sub-bandas que compõem o espectro. Desta forma é possível avaliar o comportamento do canal dentro de cada sub-banda.

Analizando graficamente o comportamento do canal Pedestre A, nota-se que a atenuação é praticamente constante dentro de cada sub-banda. Desta forma, todas as subportadoras que compõem uma sub-banda sofrerão degradações de intensidade semelhantes. Sendo assim, pode-se dizer que o desvanecimento sofrido em cada sub-banda do canal Pedestre A caracteriza um desvanecimento plano em frequência. O mesmo não ocorre para o canal Veicular A, que insere uma variação mais intensa de atenuação em cada sub-banda. A banda de coerência é igual a $BW_c = 316,256$ kHz para o canal Ped. A e $BW_c = 51,973$ kHz para o canal Vei. A. Uma análise numérica sobre a resposta em frequência dos canais usados pode ser vista em [23].

A largura de faixa ocupada por cada sub-banda representada na Figura 5 é dada pela razão entre a banda disponível para a transmissão e o número de sub-bandas utilizado. Admitindo que banda para transmissão B_{LTE} seja a mínima utilizada no LTE, ou seja, 5 MHz [14] e que o canal seja ocupado por 32 sub-bandas, a largura de faixa de cada sub-banda dada por

$$BW_s = \frac{B_{LTE}}{m} = 156,25 \text{ kHz}, \quad (5)$$

onde m é o número de sub-bandas que compõem o espectro.

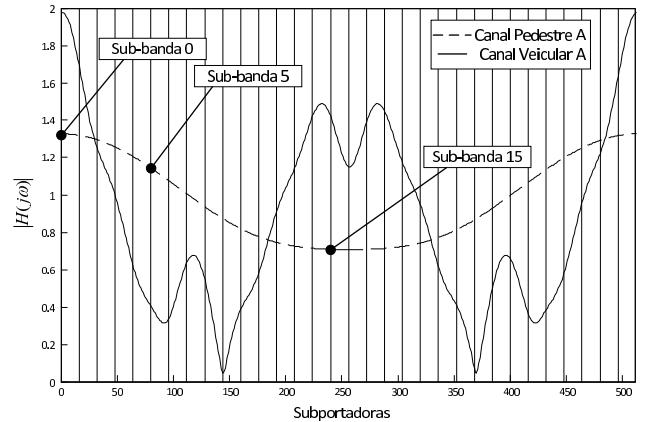


Fig. 5. Resposta em frequência dos canais Ped.A e Vei.A.

Com isso tem-se que, a banda de coerência do canal Pedestre A é maior que a faixa de frequência ocupada por uma sub-banda utilizada na transmissão. Logo, confirma-se que para o canal Pedestre A, o desvanecimento em cada sub-banda pode ser considerado plano. Porém, a faixa ocupada por uma sub-banda do canal Veicular A é maior que a banda de coerência do canal, sendo assim, há seletividade em frequência dentro das sub-bandas do canal Veicular A.

B. Desempenho em termos de SER do sistema DWHT-SC-FDMA

A Figura 6 ilustra o esquema proposto DWHT-SC-FDMA. No transmissor, os símbolos são convertidos para o domínio da frequência por meio da FFT. As componentes real e imaginária dos símbolos são separadas, este processo é representado pelo bloco CPLX. A parte real dos símbolos de entrada é entregue a matriz H_N^1 , enquanto a parte imaginária segue para a matriz H_N^2 , ambas matrizes com colunas permutadas. Na saída dos blocos DWHT, tem-se uma combinação linear dos elementos de entrada, onde os sinais das saídas das duas transformadas são recombinados, compondo novamente um sinal complexo, conforme representado pela Equação (3). A partir de então, o processo ocorre da mesma forma que no SC-FDMA convencional, no qual os símbolos complexos são mapeados e convertidos novamente para o domínio do tempo pela IFFT, o prefixo cíclico é adicionado e, por fim, são transmitidos.

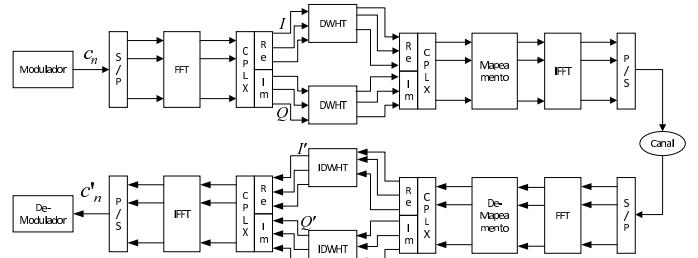


Fig. 6. Diagrama em blocos do esquema proposto DWHT-SC-FDMA.

TABELA I
PERFIL DE ATRASO DOS CANAIS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES.

Canal		Trajeto 1	Trajeto 2	Trajeto 3	Trajeto 4	Trajeto 5	Trajeto 6
Ped. A	Atraso (ns)	0	110	190	410	-	-
	Atenuação (dB)	0	-9,7	-19,2	-22,8	-	-
Vei. A	Atraso (ns)	0	310	710	1090	1730	2510
	Atenuação (dB)	0	-1,0	-9,0	-10,0	-15,0	-20,0

No receptor, as informações transmitidas são extraídas no bloco de demapeamento. Os símbolos demapeados são entregues ao bloco CPLX, onde as componentes real e imaginária são separadas para dar início ao processo de transformada inversa. Os resultados, em fase e quadratura, das multiplicações do vetor de entrada pela matriz inversa de Walsh-Hadamard são combinados conforme representado em 4. Estes símbolos obtidos na saída dos blocos CPLX são convertidos para o domínio do tempo e para a forma serial, a fim de serem demodulados.

A Figura 7 mostra o desempenho do sistema LFDMA no canal linear Veicular A, na forma convencional e, em conjunto com a WHT e DWHT. Como visto anteriormente, o modo LFDMA utiliza frequências agrupadas dentro de uma mesma sub-banda, portanto, para um usuário transmitindo seus dados em uma mesma sub-banda, o canal pode ser caracterizado por um desvanecimento plano em frequência. O uso de duas transformadas apresentam ganho no desempenho apenas em canais seletivos em frequência. Sendo assim, o resultado apresentado pela Figura 7 apenas comprova que em canais planos estas técnicas não causam qualquer impacto no desempenho do sistema. Desta forma, pode-se dizer a utilização da WHT e DWHT em canais lineares planos apenas aumenta a complexidade do sistema sem agregar qualquer benefício. O mesmo resultado ocorre para o canal Pedestre A que é menos seletivo em frequência que o Veicular A.

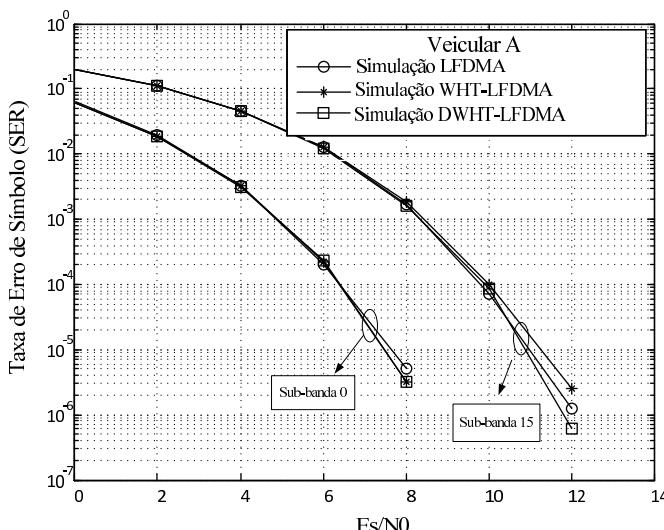


Fig. 7. Desempenho das técnicas LFDMA, WHT-LFDMA e DWHT-LFDMA no canal Veicular A.

A Figura 8 traz o desempenho do modo IFDMA ao utilizar a WHT e DWHT em subportadoras de sub-bandas distintas. Neste caso, mesmo o canal sendo seletivo em frequência, ao contrário do que ocorre no OFDM, a utilização de ambas as técnicas causa uma piora no desempenho do sistema em relação à técnica convencional. Note que para a transmissão iniciada na subportadora 0, a DWHT apresenta uma resposta melhor que a WHT. Este resultado é ainda mais expressivo para a transmissão na sub-banda 15, na qual o sinal sofre maior degradação devido à seletividade em frequência.

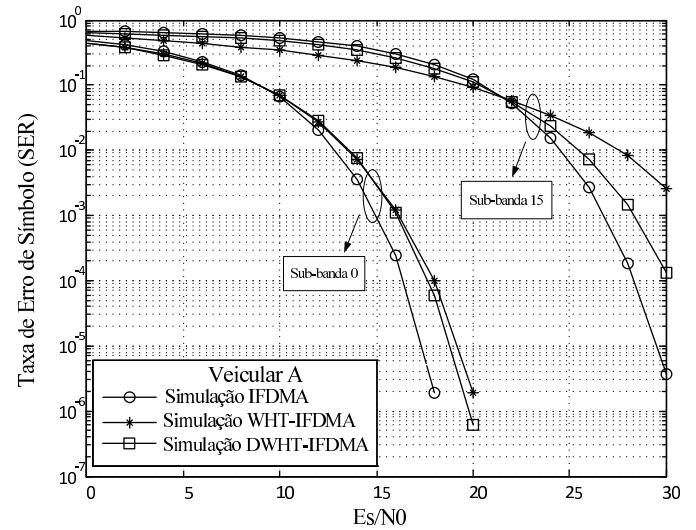


Fig. 8. Desempenho das técnicas IFDMA, WHT-IDDMA e DWHT-IDDMA no canal linear Veicular A.

A Figura 9 traz uma análise comparativa entre o desempenho das técnicas WHT e DWHT em conjunto com o IFDMA no canal Pedestre A. Com base nos resultados apresentados conclui-se a utilização das técnicas WHT e DWHT não provoca alterações significativas no desempenho do sistema, exceto para altos valores de E_s/N_0 , em que se observa uma leve piora no desempenho do sistema. Por tratar-se de um canal pouco seletivo em frequência, a transmissão em diferentes sub-bandas não tem forte influência no desempenho do sistema.

VI. CONCLUSÕES

O OFDMA e SC-FDMA são as bases do LTE, que é uma evolução do GSM/UMTS desenvolvida para aumentar a taxa de transferência de dados e a capacidade das redes de comunicação sem fio. Portanto, há uma grande preocupação

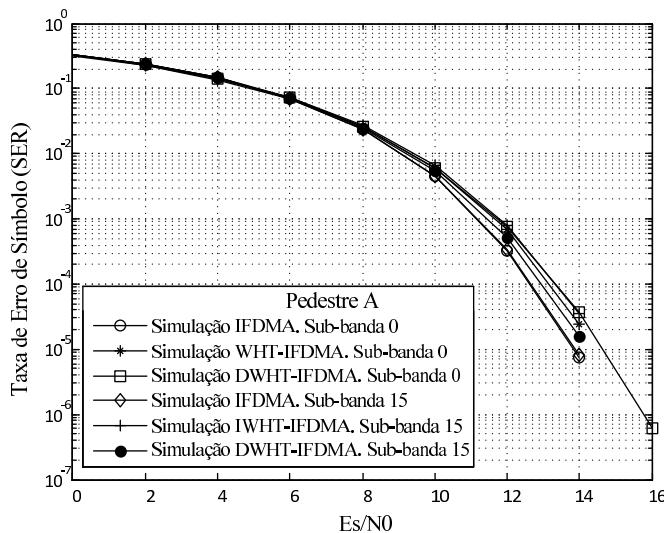


Fig. 9. Desempenho das técnicas WHT-IFDMA e DWHT-IFDMA no canal Pedestre A.

em fazer com que os sistemas que utilizam ambas as técnicas apresentem o melhor desempenho possível a fim de oferecer serviços de dados com a melhor qualidade.

Os bons resultados obtidos utilizando as técnicas baseadas nas matrizes de Walsh-Hadamard no OFDM motivaram a investigação da possibilidade de implementar ambas as técnicas também nos sistemas SC-FDMA, com o objetivo de observar os efeitos que esta nova combinação pode inserir no sistema.

Contudo, ao contrário do esperado, os resultados da implementação de ambas as técnicas nos sistemas SC-FDMA, em canais lineares seletivos em frequência, refletem um desempenho similar ao SC-FDMA convencional em canal pouco seletivo em frequência ou, uma considerável queda do desempenho, em termos de SER, dos sistemas em canais mais seletivos. Sendo assim, conclui-se que a utilização de ambas as técnicas, WHT e DWHT, apresenta ganho apenas em sistemas de múltiplas portadoras, como é o caso do OFDM, e que a utilização dessas técnicas em sistemas *Single Carrier* resulta em um aumento desnecessário da complexidade do sistema e aumento de custos, não sendo, de fato, viável em sistemas como o SC-FDE e SC-FDMA.

REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP TR 25.814 Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) (Release 7), vol. 7.1.0, Sep-2006.
- [2] S. Sesia, I. Toufik, e M. Baker, LTE - The UMTS Long Term Evolution - From Theory to Practice, 1st ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [3] K. Balachandran, D. Calin, e F. C. Cheng, "Design and Analysis of an IEEE 802.16e-based OFDMA Communication System," in Bell Labs Tech. Jour, 4th ed., vol. 11, 2007, pp. 53-73.
- [4] A. R. S. Bahai, B. R. Saltzberg, e M. Ergen, Multi-carrier digital communications: theory and applications of OFDM, 2nd ed. New York: Springer, 2004.
- [5] H. G. Myung e D. J. Goodman, Single Carrier FDMA - A New Air Interface for Long Term Evolution. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
- [6] M. Sabbaghian e D. D. Falconer, "Reducing Required Power Back-Off of Nonlinear Amplifiers in Serial Modulation using SLM Method," presented at the Vehicular Technology Conference, Ottawa, Canadá, 2005.
- [7] S. G. Kang, J. G. Kim, e E. K. Joo, "A novel subblock partition scheme for partial transmit sequence OFDM," IEEE Transaction on Broadcast, vol. 45, pp. 333-338, 2003.
- [8] I. Baig e V. Jeoti, "PAPR Reduction in OFDM Systems: Zadoff-Chu Matrix Transform Based Pre/Post-Coding Techniques," presented at the Second International Conference on Computational Intelligence, Communication System and Networks, Liverpool, United Kingdom, 2010.
- [9] L. L. Mendes, G. P. Aquino, e L. Resende, "Double Walsh-Hadamard Transform OFDM System," in Proceedings of International Workshop on Telecommunications, 2013.
- [10] G. P. Aquino, "Comparação entre Técnicas de Redução da PAPR em Sistemas OFDM," Dissertação de Mestrado, Inatel, Santa Rita do Sapucaí, Brasil, 2011.
- [11] R. N. Bracewell, The Fourier transform and its applications, 3rd ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.
- [12] "Introducing LTE-Advanced," Agilent Technologies, Inc, Oct. 2010.
- [13] L. L. Mendes, "SBTVD: Uma visão sobre a TV digital no Brasil," T&C Amazônica, ano V, no. 12, 2007.
- [14] H. Holma e A. Toskala, LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- [15] J. A. C. Bingham, ADSL, VDSL, and Multicarrier Modulation. New York: Wiley, 2000.
- [16] S. Haykin e M. Moher, Sistemas Modernos de Comunicações Wireless. Bookman.
- [17] L. Korowajczuk, LTE, WiMAX and WLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis, 1st ed. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [18] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, e P. Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband. Academic Press, 2010.
- [19] S. G. Glisic e P. A. Leppänen, Wireless Communications: TDMA Versus CDMA. Springer, 2010.
- [20] B. J. Dixon, R. D. Pollard, e S. Ixekiel, "A discussion of the effects of amplifier backoff on OFDM," High Frequency Postgraduate Student Colloquium, vol. 1, pp. 14-19, 1999.
- [21] "3GPP Home Page," [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/about-3gpp>. [Accessed: 05-Apr-2014].
- [22] H. G. Myung, J. Lim, e D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission," IEEE Vehicular Technology Magazine, pp. 9, Sep-2006.
- [23] T. E. Alves, "Avaliação dos efeitos da dupla transformada de Walsh-Hadamard em sistemas SC-FDMA com canal linear seletivo em frequência," Trabalho de conclusão de curso de graduação, Inatel, Santa Rita do Sapucaí, Brasil, 2014.
- [24] Z. Dlugaszewski e K. Wesolowski, "WHT-OFDM - an Improved OFDM Transmission Method for Selective Fading Channels," Symposium on Communications and Vehicular Technology, pp. 144-149, 2000.
- [25] D. A. Guimarães e G. G. Gomes, "Caracterização do Canal para o MISBTVD," Revista Telecomunicações, Dezembro, 2006.
- [26] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 2000.

Redes Wi-Fi Cognitivas

M. M. Bontempo

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mariliamartins@gee.inatel.br

P. S. Marques

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
paolamarqs@gmail.com

Arismar Cerqueira S. Jr.

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
arismar@inatel.br

Resumo—As aplicações multimídia recentes exigem continuadamente maiores taxas de dados. Os desafios modernos inspiram novas soluções para superar a limitação do espectro de frequência natural e as interferências eletromagnéticas em comunicações no padrão Wi-Fi. Este trabalho apresenta duas propostas para o aprimoramento dessas comunicações. A primeira consiste na análise e otimização computacional das antenas internas de um roteador, integradas à sua estrutura física. Em seguida, um sistema para sensoriamento espectral embarcado em um FPGA é apresentado. Tal sistema utiliza antenas inteligentes e é capaz de apontar o melhor canal de Wi-Fi para a transmissão e a área geográfica de maior carga de dados.

Palavras-chave— FPGA, redes Wi-Fi, roteadores, sensoriamento espectral.

I. INTRODUÇÃO

Com a popularização e o consequente barateamento de equipamentos eletrônicos como *notebooks*, computadores pessoais e *smartphones*, tornou-se comum o cenário de dois, três ou até mais desses aparelhos em uma mesma casa. A partir dessa realidade, surge o impasse de garantir que todos esses dispositivos tenham acesso simultâneo à Internet e disponham de certa mobilidade para maior conforto.

Atendendo a essas necessidades, uma rede Wi-Fi permite a portabilidade e a praticidade da informação independente do lugar. Sobretudo, a rede possui banda passante pequena em razão das limitações na cobertura do sinal e da alta taxa de erros devido às interferências eletromagnéticas.

Frente à larga demanda para o uso de uma rede Wi-Fi, encontram-se canais para a banda usada da Indústria, Científico e Médico (ISM) de 5MHz e 20MHz, disponíveis para as faixas de frequência de 2,400 a 2,4835 GHz e 5,725 a 5,850 GHz. A alocação do crescente tráfego de dados nessas bandas naturalmente limitadas, exige soluções de cunho tecnológico, capazes de otimizar o uso do espectro eletromagnético. Uma alternativa conhecida é o chamado rádio cognitivo.

De acordo com a *Federal Communications Commission* (FCC), um rádio cognitivo é um sistema que dinamicamente altera suas condições de operação em função do ambiente eletromagnético percebido [1]. Tendo em vista tal definição, o processo de realocar a transmissão de sinais em faixas de frequência congestionadas e escassas para as bandas não licenciadas é uma saída para o problema da demasiada utilização do espectro eletromagnético.

O princípio de sensoriamento espectral utilizado neste trabalho é focado na detecção de energia que, dentre todas as

outras técnicas existentes, é a mais utilizada, pois demanda uma menor complexidade de implementação e usa de uma menor capacidade de processamento [2]. Outras opções de avanços técnicos podem ser utilizadas não somente no processamento de sinais, mas também na maneira como ele é captado. Antenas inteligentes são adicionadas ao sistema proposto para o sensoriamento espectral dividido em três áreas geográficas e, portanto, enviam à *central office* informações úteis para a determinação da quantidade de energia a ser transmitida em cada uma das áreas.

O tráfego de dados móvel cresceu cerca de 80% em 2013 [3], e promete permanecer em crescimento vertiginoso pelos próximos anos. Os sistemas de telecomunicações exigem cada vez mais dispositivos compactos, móveis e adaptáveis a qualquer tipo de aparelho eletrônico. Nesse sentido, o uso do sensoriamento espectral embarcado representa um forte apelo para investimento em pesquisas, a fim de incorporá-lo a outras tecnologias existentes.

Esse trabalho está dividido sistematicamente em duas partes. O item II propõe o estudo e a otimização de antenas utilizadas em roteadores convencionais. Em sequência, o item III apresenta um sistema para sensoriamento espectral embarcado.

II. ESTUDO E OTIMIZAÇÃO DE ANTENAS PARA ROTEADORES EM REDES WLAN

As redes sem fio se tornaram a vanguarda em tecnologia Wi-Fi. As chamadas redes locais sem fio (WLAN - *Wireless Local Area Network*) certificam maior mobilidade e colaboração, bem como facilitam a expansão da rede dentro de uma empresa ou um escritório, por exemplo.

Uma WLAN usa ondas de rádio para transmissão de dados e para conectar dispositivos eletrônicos à rede, descartando a necessidade de cabos e/ou meios físicos. A rede é, basicamente, constituída por um *modem*, caso seja necessária a conexão com a Internet, um roteador sem fio ou um *access point* para transmissão de dados e um adaptador de rede para os dispositivos que serão conectados.

Nesse enlace, o roteador sem fio é, portanto, a peça chave para tornar possível o acesso à rede sem o uso de cabeamentos ou fios, já que o meio físico é o ar.

A. Roteadores: características e funcionamento

De forma geral, os roteadores têm a função característica de encontrar as melhores rotas para transmissão de pacotes de

dados, podendo priorizar transmissões mais curtas e menos congestionadas, dependendo da tabela de configuração do aparelho.

Para conectar equipamentos eletrônicos via Wi-Fi, os roteadores sem fio se conectam diretamente ao modem para acesso à Internet de banda larga e possuem antenas para enviar e receber pacotes de dados.

As antenas mais comuns em roteadores podem ser encontradas interna ou externamente. A antenas externas são, em sua maioria, monopolos pela facilidade de construção e pelo padrão de radiação onidirecional. Já as antenas internas mais comuns são do tipo PIFA (*Planar Inverted-F Antenna*) e IFA (*Inverted-F Antenna*) por serem compactas, onidirecionais, de geometria e estrutura simples, com possibilidade de otimização para se adequarem melhor no roteador. Além disso, as antenas PIFA podem também ser encontradas em meio a arranjos (Ex.: MIMO - *Multiple Input Multiple Output*) para melhor cobertura na transmissão do sinal Wi-Fi e transmissão de dados.

B. Análise e modelamento eletromagnético de antenas nos roteadores CISCO

Este trabalho apresenta uma análise do funcionamento das antenas do roteador sem fio *dual-band* Cisco Linksys E4200 v2 a partir de simulações numéricas realizadas por meio da ferramenta computacional *High Frequency Structure Simulator* (HFSS).

O roteador da Cisco apresenta um arranjo MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) 3x3 de antenas tipo PIFA, sendo três dessas para a frequência de 2,4 GHz e outras três para a frequência de 5,8 GHz, cobrindo, assim, as faixas reservadas para ISM.

A antena analisada neste trabalho é uma PIFA, que opera em 2,4 GHz e está alojada na borda direita do roteador Cisco. A Fig. 1 ilustra a representação real e a modelada no software HFSS da antena em questão.

A antenas do roteador sofrem grande interferência eletromagnética por serem alocadas internamente. Dessa forma, para simular o arranjo, foi necessário construir grande parte dos elementos e componentes da placa de circuito impresso, desde *slots* até conectores e proteções metálicas e plásticas de isolamento.

Pelo mesmo motivo, supõe-se que as antenas foram projetadas computacionalmente por serem recortadas e não se assemelharem aos padrões convencionais de uma PIFA tradicional com plano de terra, *patch* sobreposto e alimentação em 'F'. Assim, se projetadas via *software*, têm as dimensões exatas para serem inseridas no roteador ao lado da placa e operarem adequadamente.

Um dos grandes problemas durante a reprodução no HFSS foi a banda de operação estreita em relação à real/original. No entanto, a situação se explica pela falta do *layout* da placa do roteador, visto que, quanto maiores forem as perdas de uma antena, maior será sua banda de operação. Segue abaixo o gráfico de comparação entre a PIFA real e a PIFA simulada.

Visto que o resultado da simulação no HFSS não correspondeu de forma exata à medida da PIFA real, segue na próxima seção a otimização da antena.

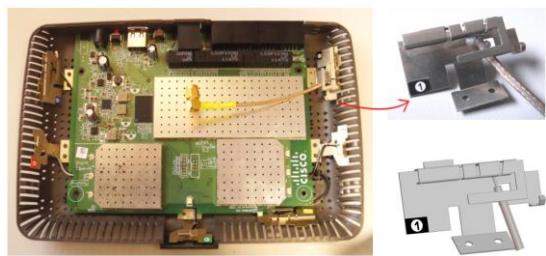


Fig. 1. Vista superior do roteador e detalhe PIFA real e PIFA no HFSS

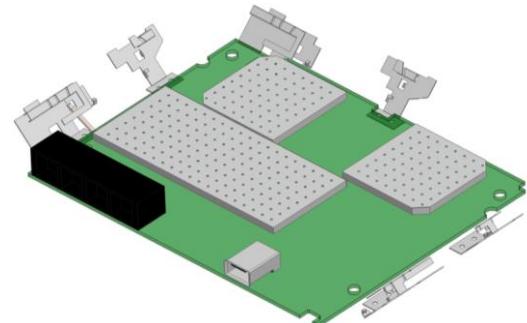


Fig. 2. Arranjo construído no HFSS

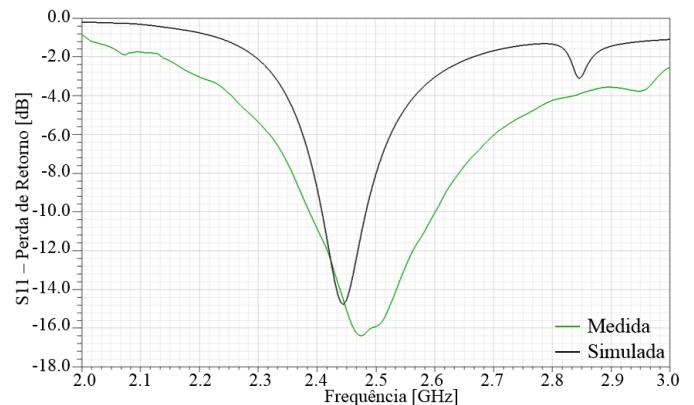


Fig. 3. Comparação entre PIFA no arranjo medido e PIFA no arranjo simulado

C. Técnicas de radiofrequência para o aperfeiçoamento das características eletromagnéticas de antenas nos roteadores CISCO

A fim de melhorar os resultados da simulação do arranjo, foram realizadas algumas alterações nas dimensões na estrutura do patch sobreposto à PIFA para otimização da antena, conforme a Fig. 4.

III. SISTEMA PARA SENSORIAMENTO ESPECTRAL EMBARCADO EM FPGA's

A proposta do Wi-Fi traz, de modo inerente, o conceito de mobilidade. Em locais cujas dimensões superam o alcance proporcionado pelo roteador em questão, faz-se necessário o uso de repetidores, os chamados *access point*. Os *access point* devem garantir o sinal de Wi-Fi a todos os pontos em que se deseja a cobertura da rede, proporcionando mobilidade ao usuário.

O uso de *access point* é comum, especialmente em locais comerciais e instituições onde o ambiente físico, em geral, possui extensão ampliada. Sendo assim, os dispositivos os quais

desejam se conectar à rede sem fio devem escolher um dos *access point* disponível para a conexão. A princípio, existem algoritmos que efetuam tal escolha. Cada código leva em consideração um critério como intensidade do sinal, carga na rede, entre outros [4]. O critério utilizado no algoritmo depende somente da escolha do fabricante do dispositivo.

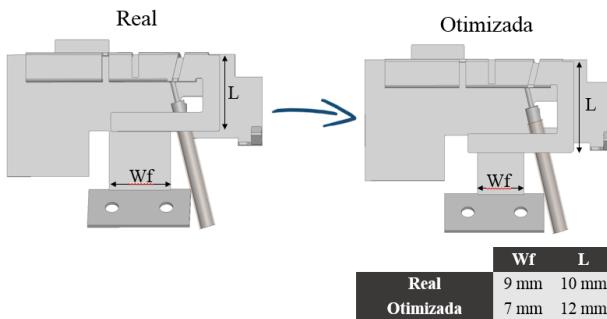


Fig. 4. Otimização da PIFA

Cada *access point* da rede deve ser configurado de maneira fixa para um canal da faixa do Wi-Fi diferente [5]. Sendo assim, os canais de Wi-Fi escolhidos para a transmissão de cada *access point* podem sofrer interferências eletromagnéticas de dispositivos externos e de outros *access point* próximos. Também um aglomerado de pessoas pode sobrecarregar determinado roteador e, portanto, um canal único ficará com alta carga. Isso porque a maioria dos dispositivos sem fio opta pelo *access point* com o sinal existente de maior intensidade e, portanto, acabam se conectando àquele que está mais próximo.

Como solução para este habitual embate, esta secção descreve um sistema embarcado completo, capaz de impedir a sobrecarga proveniente do acúmulo geográfico de dispositivos e distribuir os canais de Wi-Fi a serem utilizados pelos *access point* em função da análise do uso espectral. As soluções propostas são apresentadas nos itens abaixo subdivididos em hardware, isto é, um conjunto de antenas eletricamente configurável, e software – um algoritmo para sensoriamento espectral baseado em detecção de energia.

A. Arranjo de antenas eletricamente reconfiguráveis

O sistema conta com um arranjo de antenas dipolo de meia onda com planos refletores, os quais promovem uma abertura de meia potência de 120° para cada antena. A chave de radiofrequênci a (RF) SKY13373 é utilizada na alimentação de uma antena por vez, para que o sensoriamento espectral seja realizado em três regiões geográficas distintas. As dimensões finais do arranjo se aproximam de 12 cm. As figuras 5 e 6 ilustram o arranjo de antenas inteligentes e o esquema elétrico da placa de controle da chave de RF utilizada.

A placa que inclui a chave seletora de RF possui seu layout otimizado para que o tamanho de cada uma das trilhas de alimentação seja o mesmo. Tal placa fica posicionada dentro da estrutura formada pelos refletores.

A perda por retorno de cada uma das antenas garante um funcionamento adequado do arranjo em cada um dos canais presentes no padrão Wi-Fi de 2,4 GHz. O ponto de decaimento de metade da potência do diagrama de irradiação das antenas coincide geograficamente entre todas elas. Assim, quaisquer

lacunas espectrais podem ser evitadas. As figuras 7, 8 e 9 ilustram respectivamente o padrão de irradiação simulado de cada uma das antenas, o padrão de irradiação medido em uma delas e as perdas por retorno medida e simulada para cada antena.

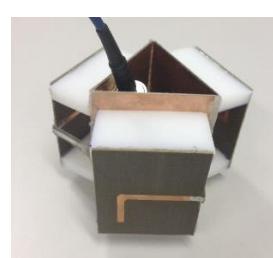


Fig. 5. Arranjo de antenas
inteligentes eletricamente controladas

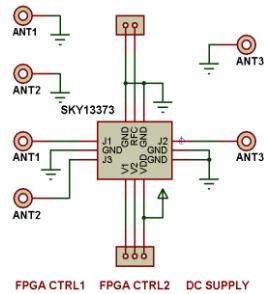


Fig. 6. Esquema elétrico da chave de radiofrequência utilizada

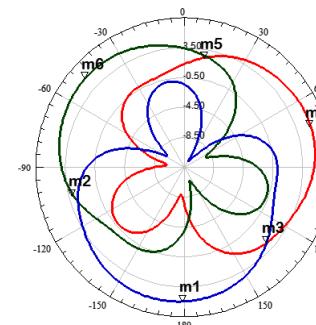


Fig. 7. Padrão de irradiação simulado de cada uma das antenas no plano H

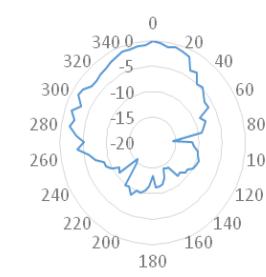


Fig. 8. Padrão de irradiação
medido de cada uma das
antenas

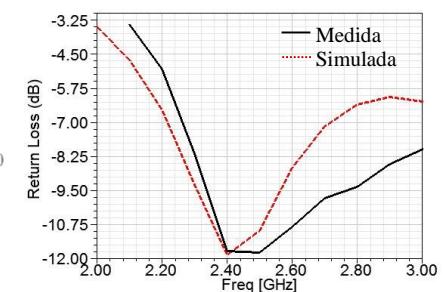


Fig. 9. Perda por retorno medida e simulada de cada uma das antenas

B. Software para análise espectral baseado na detecção de energia

O processamento dos sinais detectados pela antena é feito em duas etapas. Primeiramente, o sinal recebido pelo arranjo de antenas é digitalizado e convertido para baixa frequência. Em uma segunda etapa, o sinal é processado por um algoritmo embarcado que calcula a energia contida na faixa de frequência avaliada.

Para a implementação da primeira etapa, utiliza-se a placa *Blade RF*. Ela é uma placa de baixo custo para aplicações de Rádio Definido por Software (RDS) e usa o transceptor LMS6001D para receber e transmitir sinais de radiofrequência.

Na segunda etapa do sistema, o algoritmo embarcado é elaborado com base na aplicação *GNU Radio*, um conjunto de

ferramentas que fornece blocos de processamento utilizados para a criação de Rádios Definidos por Software. O diagrama de blocos do sistema é ilustrado na Fig. 10.

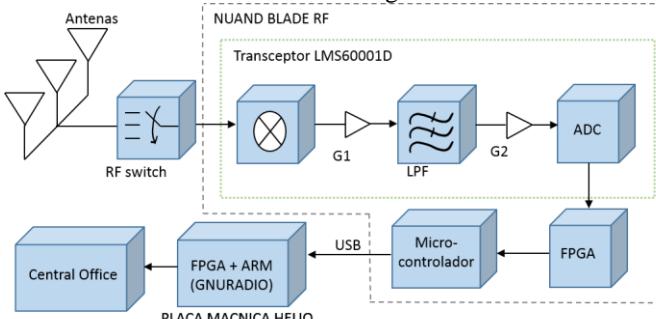


Figura 10. Diagrama de blocos do sistema

O código a princípio seleciona uma das três antenas do arranjo para o sensoriamento espacial. O algoritmo desenvolvido recebe então as amostras já digitalizadas pela placa Blade RF na representação I e Q. Os procedimentos seguintes são realizados para cada uma das três antenas. O sistema elimina possíveis níveis DC gerados pelo processo de conversão do transceptor LMS6001D. O bloco *decimate* é responsável por reduzir a taxa de amostragem do sinal recebido para que o cálculo da energia do sinal na banda analisada possa ser computado pelo hardware. Posteriormente a magnitude do sinal de RF é calculada. Um filtro passa-baixa de um pólo age como um integrador, eliminando variações bruscas de energia. O resultado da energia calculada pode ser visto na escala de decibéis.

O cálculo da energia do sinal recebido é efetuado a cada 20 MHz de banda, em função das limitações de processamento impostas pela placa Macnica – Helio utilizada. Ao final da análise de todos os canais de Wi-Fi, o código determina aquele que está ocupado com uma menor quantidade de energia e o assume como melhor canal para transmissão. O canal escolhido para transmissão é enviado para a *central office*, que pode alterar a freqüência e a potência de transmissão utilizadas. O fluxograma do algoritmo para sensoriamento espectral baseado na detecção de energia pode ser visto na Fig. 11.

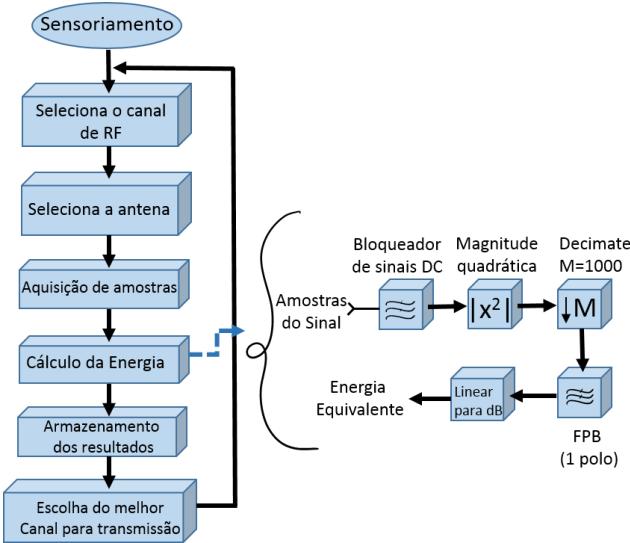


Fig. 11. Algoritmo completo do sensoriamento espectral baseado em detecção de energia

C. Resultados obtidos com o sistema proposto para sensoriamento espectral

Uma bancada experimental foi montada (Fig. 12) para efetuar testes de campo em um ambiente real com mais de um ponto de Wi-Fi disponíveis para a conexão. Para executar o sensoriamento de toda a banda do Wi-Fi, 39 medidas foram realizadas, cobrindo uma faixa de 5 MHz cada uma delas. A faixa de frequência medida vai de 2,4 GHz a 2,595 GHz. Cada uma das três antenas foi selecionada por 10 minutos, levando cerca de 2 segundos para efetuar uma medição a qual cobre toda a faixa de Wi-Fi. Foram coletadas, no total, cerca de 300 amostras do sinal de radiofrequência recebido de cada um dos 20 canais.

O resultado do sensoriamento é enviado a uma *central office*, a qual pode adaptar a potência e a frequência de transmissão de acordo com o melhor canal escolhido pelo sistema.

As medidas foram realizadas de modo próximo a dois roteadores Wi-Fi idênticos, estando cada um deles em comunicação com um telefone celular também próximo. Os roteadores Wi-Fi transmitiram uma potência de +13 dB e o ganho de recepção média da Blade RF foi configurado em +40 dB. Um par aparelho celular e roteador foi designado para o estabelecimento da comunicação no canal de Wi-Fi 2 (freqüência central de 2,417 GHz). O outro par foi configurado para o canal 10 (2,457 GHz). A bancada de testes utilizada pode ser vista na Fig. 12.

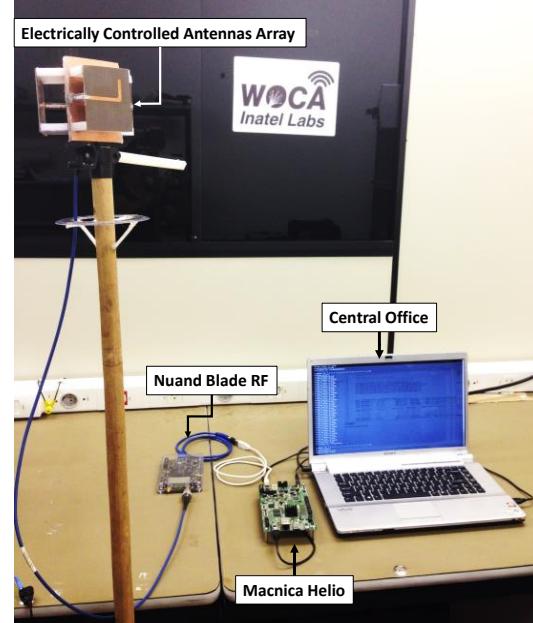


Fig. 12. Bancada para testes em campo do sistema proposto

A Fig. 13 mostra o espectro do sinal detectado por cada antena. Já a figura 14 mostra a alocação do espectro detectada e processada pelo sistema quando o limiar de detecção foi definido como -40dBm. A ausência de sinal no canal 2, observada na Fig. 13-c entre os minutos 6 e 8, corresponde ao momento em que a comunicação do telefone celular com o roteador foi pausada. Na Fig. 13-a, entre os minutos 5 e 8, o telefone celular foi distanciado da antena 1, produzindo uma redução no sinal recebido e tornando o momento propício para transmissão, como mostrado na figura 14-a.

Com os dados coletados pelas três antenas é possível criar uma tabela de alocação espectral em função da posição geográfica de interesse e do momento do uso de cada canal de

Wi-Fi. As figuras 13 a 14 contém mapas de calor para a decisão do melhor canal para transmissão, dependendo do momento e da posição geográfica durante as medidas executadas.

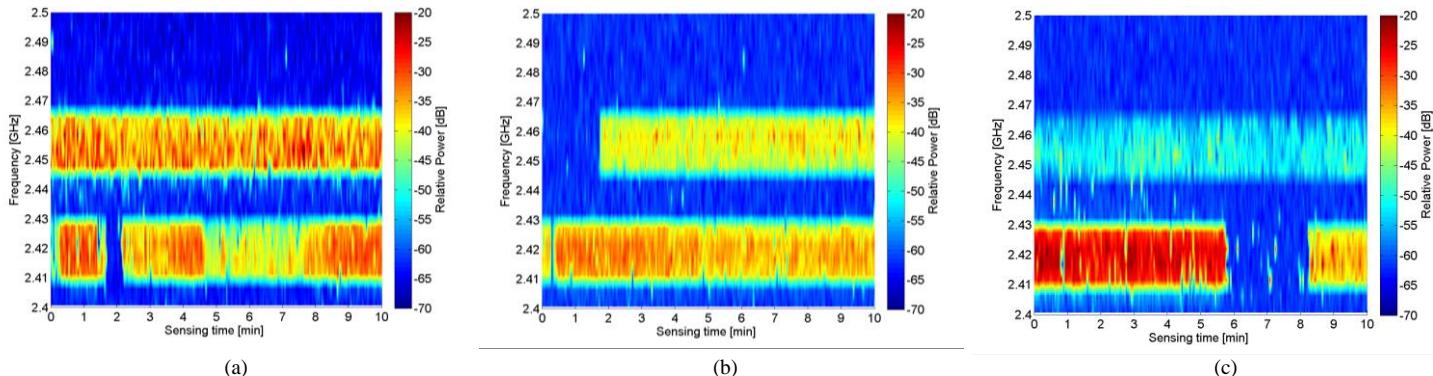


Fig. 13. Espectro eletromagnético analisado. (a) Antena 1. (b) Antena 2. (c) Antena 3.

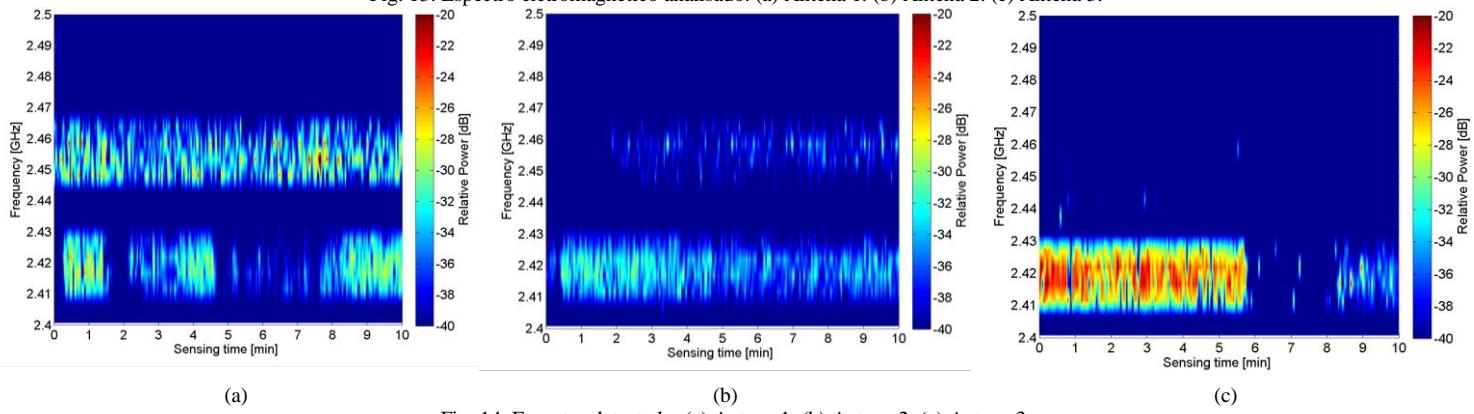


Fig. 14. Espectro detectado. (a) Antena 1. (b) Antena 2. (c) Antena 3.

IV. CONCLUSÕES

As antenas PIFA utilizadas internamente em roteadores podem ser otimizadas para que, por consequência, o sinal disponível em ambiente livre seja melhorado. Isso é possível através da simulação criteriosa de todos os componentes e materiais os quais compõem a estrutura física do roteador. Quanto maior a fidelidade do modelo reproduzido em uma ferramenta de cálculo computacional, maiores são as possibilidades de adequação das dimensões e do posicionamento das antenas. Também as características do ambiente de utilização do roteador podem ser simuladas, de modo a produzir roteadores com antenas diferentes para espaços diferenciados.

No desenvolvimento do sistema embarcado para sensoriamento espectral, o uso do processador ARM alcança 100%, o que pode indicar uma limitação da ferramenta *GNU Radio* para a aplicação desenvolvida. Para resolver essa limitação e fazer o uso completo do processamento disponível no Sistema em Chip (SoC), parte do sinal processado pelos blocos gerados através do *GNU Radio* podem ser implementados no chip FPGA, também disponível nesse SoC. Assim, o processador ARM fica responsável somente por pela transferência de resultados entre o hardware de sensoriamento e a *central office*. Esse representa um trabalho futuro.

A ideia do sensoriamento embarcado assegura a mobilidade das técnicas de sensoriamento espectral, fator extremamente

necessário frente à larga demanda de taxas de transmissão mais elevadas.

O sistema de sensoriamento espectral desenvolvido também sugere a incorporação deste trabalho nas novas propostas para internet do futuro, internet das coisas e diversas outras aplicações.

Portanto, a geração e o aprimoramento de tecnologias que integram dispositivos de maneira coesa é o que se espera dos novos dispositivos eletrônicos e de telecomunicações: mais versatilidade, mais inteligência.

REFERÊNCIAS

- [1] Meddour, Djamel-Eddine; Kortebi, A.; Boutaba, R., "Mesh-Based Broadband Home Network Solution: Setup and Experiments," *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on*, vol. no., pp.1,5, 23-27 May 2010.
- [2] Stallings, William, "Data and computer Communications", 7ª Edição, Prentice Hall, 2004.
- [3] T. Cisco, "Cisco Visual Networking Index : Global Mobile Data Traffic Forecast Update , 2013 – 2018", pp. 2013–2018, 2014.
- [4] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 116–130, 2009.
- [5] S. Shankar, C. Cordeiro, and K. Challapali, "Spectrum agile radios: utilization and sensing architectures," in *Proc. IEEE Int. Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, Baltimore, Maryland, USA, Nov. 2005, pp. 160–169.
- [6] J. P. De Vries, L. Simić, A. Achtzehn, M. Petrova, and P. Mähönen, "The Wi-Fi ‘congestion crisis’: Regulatory criteria for assessing spectrum

- congestion claims," *Telecomm. Policy*, vol. 38, no. 8–9, pp. 838–850, Sep. 2014.
- [7] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," Proc. IEEE, vol. 55, pp. 523–531, Apr. 1967.
- [8] J. R. G. Rosa, M. A. F. Casaroli, I. F. Costa, A. M. Alberti, A. Cerqueira, and S. Jr, "Implementation of an Optical-Wireless Network with Spectrum Sensing and Dynamic Resource Allocation Using Optically Controlled Reconfigurable Antennas," in *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2014, 2014.
- [9] S. Cui, S. Member, A. J. Goldsmith, S. Member, and A. Bahai, "Energy-efficiency of MIMO and Cooperative MIMO Techniques in Sensor Networks," pp. 1–10, 2004.
- [10] M. Darwish, C. Lau, and S. S. Processing, "A Software Radio Architecture for Smart Antennas."
- [11] C. Dick, L. Drive, S. Jose, and M. Rice, "Synchronization in Software Radios - Carrier and Timing Recovery Using FPGAs," 2000.
- [12] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas," *Bell Labs Tech. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 41–59, Aug. 2002.
- [13] R. P. S. Gangwar, "A decision directed smart antenna system with neural estimation for M-quadrature amplitude modulated signals," vol. 39, no. February, pp. 45–52, 2010.
- [14] D. Gesbert, M. Shafi, P. J. Smith, and a. Naguib, "From theory to practice: an overview of MIMO space-time coded wireless systems," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 21, no. 3, pp. 281–302, Apr. 2003.
- [15] G. D. Golden, C. J. Foschini, R. a. Valenzuela, and P. W. Wolniansky, "Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST space-time communication architecture," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 1, p. 14, 1999.
- [16] R. S. Havinal and G. V Attimarad, "Implementation of Smart Antenna Adaptive Beamforming Algorithm In FPGA," vol. 2.
- [17] S. a. Jafar, "Degrees of Freedom of the MIMO X Channel," pp. 1632–1636, Nov. 2007.
- [18] T. Kaiser, H. Boche, J. Rodr, B. Andersen, and W. Utschick, *Smart Antennas State of the Art* .
- [19] J. P. Kermoal, L. Schumacher, K. I. Pedersen, P. E. Mogensen, and F. Frederiksen, "With Experimental Validation," vol. 20, no. 6, pp. 1211–1226, 2002.
- [20] K. Kikuchi, *High Spectral Density Optical Communication Technologies*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010.
- [21] D. J. Love, S. Member, R. W. Heath, and T. Strohmer, "Grassmannian Beamforming for Multiple-Input Multiple-Output Wireless Systems," vol. 49, no. 10, pp. 2735–2747, 2003.
- [22] A. R. Shah, R. C. J. Hsu, A. Tarighat, S. Member, and A. H. Sayed, "Coherent Optical MIMO (COMIMO)," vol. 23, no. 8, pp. 2410–2419, 2005.
- [23] C. Siriteanu, S. D. Blotstein, and J. Millar, "FPGA-Based Communications Receivers for Smart Antenna Array Embedded Systems," *EURASIP J. Embed. Syst.*, vol. 2006, pp. 1–13, 2006.
- [24] G. L. Stüber, J. R. Barry, S. W. McLaughlin, S. Member, Y. E. G. Li, M. A. N. N. Ingram, and T. G. Pratt, "Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications," vol. 92, no. 2, pp. 271–294, 2004.
- [25] D. N. C. Tse, "Diversity and multiplexing: a fundamental tradeoff in multiple-antenna channels," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 5, pp. 1073–1096, May 2003.
- [26] Z. Xiang, J. Mo, and M. Tao, "Degrees of freedom of MIMO two-way X relay channel," *2012 IEEE Glob. Commun. Conf.*, pp. 2420–2425, Dec. 2012.
- [27] R. Svitek and S. Raman, "DC Offsets in Direct-Conversion Receivers: Characterization and Implications" 2005 IEEE Microwave Magazine , pp. 76-86, Sep. 2005.
- [28] S. E. Tavares, "A Comparison of Integration and Low-Pass Filtering", 1966, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2005 Vol. im-15, NO. 1-2, Jun 1966

Estudo do Sistema de monitoramento veicular por câmera IP

Guilherme Campos Pereira dos Santos
 Instituto Nacional de Telecomunicações
 guilhermesantos@gee.inatel.br

João Guilherme P. Diniz
 Instituto Nacional de Telecomunicações
 joao.diniz@gee.inatel.br

Leandro S. de Souza
 Instituto Nacional de Telecomunicações
 leandros@inatel.br

Resumo - Neste terceiro e último relatório, iremos abordar os assuntos tratados nos relatórios anteriores, anexando todos os conceitos adquiridos em nossos estudos. Trataremos desde o princípio e conceito sobre as câmeras de monitoramento por IP, seguindo os métodos de instalação, até seu aperfeiçoamento através de programas específicos que nos possibilitem a obtenção de imagens em tempo real, também falaremos sobre a rede de dados móveis e algumas possíveis implementações visando o melhoramento do projeto.

Palavras-chave - Ip Camera Tool, IP, DNS, Câmera IP Wireless, QuickTime Player, MDVR Veicular, MDVRV6, CMSServer Control, MDVRPlayer, MMS, Sim Card, GPRS/EDGE, gServer Manage, Biometria, Digital, Leitor Biométrico, Arduino.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, os crimes crescem exponencialmente enquanto a nossa segurança parece estar cada vez mais comprometida. Assim, câmeras de segurança tornaram-se itens indispensáveis na proteção de pessoas, ambientes ou bens materiais.

Com base nos conhecimentos adquiridos ao longo dos estudos, poderemos realizar a implantação do projeto, além da possibilidade de analisar seu desempenho, realizar otimizações no sistema e reduzir custos.

II. PROCESSAMENTO

A. Instalação do Software e Hardware.

Inicialmente será utilizado o cabo de rede, após as configurações poderemos utilizar a transmissão sem fio.

Devemos conectar o cabo de rede no seu roteador, conforme a Figura 1.



Figura 1 - Instalação do cabo de rede

Este tipo de câmera tem o seu software instalado em seu próprio hardware. O IpCamera Tool é um software que localiza o IP de cada câmera na rede e facilita o acesso aos dados.

B. Acesso à câmera.

Iniciaremos o programa IpCamera Tool como administrador. Nesta janela aparecerão todas as câmeras instaladas na rede. A câmera por padrão encontra o IP (endereço de rede) automaticamente. Selecionando a câmera desejada, o navegador padrão iniciará e será necessário efetuar o Login e esta imagem deverá aparecer, Figura 2.



Figura 2 - Apresentação da imagem da câmera

Após a instalação da câmera, devemos entrar nos conteúdos de administração e realizar as configurações Wireless Lan.

A câmera agora está com a configuração wireless definida, Figura 3, e já podemos desconectar o cabo de rede da câmera. **Eventualmente a câmera pode mudar de IP, quando desconectado o cabo, portanto devemos sempre utilizar o IpCamera Tool, pois detectará o novo IP.**

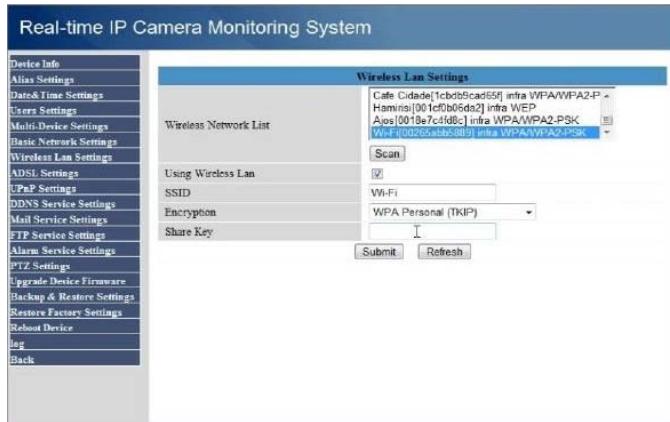


Figura 3 – Configurações da câmera

C. DNS (Domain Name System).

Em português, Sistema de Nomes de Domínio, a internet possui DNS que funciona como um sistema de tradução de endereços IP para nomes domínios. E todo site ou serviço que está inserido na internet necessita de um endereço IP, mas mesmo que os usuários usem somente esses nomes, o computador necessita do endereço de IP e cabe ao DNS relacionar o domínio aos IPs. Cada servidor possui um endereço IP único, logo, cada domínio leva a um IP específico.

D. Criando endereço DNS para Câmera IP wireless

O DNS é necessário para todos que vão utilizar a câmera e que não possuem um endereço IP fixo e que possuem a necessidade de acessar a câmera de qualquer lugar do mundo. Neste caso, o endereço de IP que o DNS irá se modificar para um nome domínio e será o endereço da câmera.

Para criarmos um endereço DNS para a câmera IP wireless, devemos ter uma conta no site www.dyndns.com. Primeiramente, deve-se criar uma conta no site. Após isso, entramos nos serviços e adicionamos um host usando as configurações necessárias. Assim, o endereço DNS da câmera foi criado.

E. Visualização da Câmera de IP em tempo real

Com os programas da câmera de IP (IP Camera Tool) e o programa QuickTime Player instalados, devemos acessar o QuickTime e efetuar as Configurações de Transporte, abaixo na Figura 4.

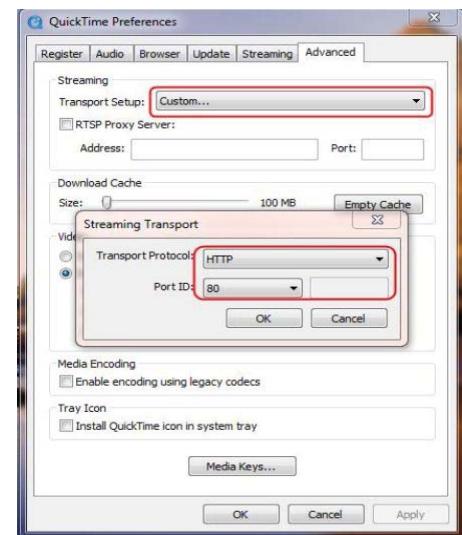


Figura4 - Configurações QuickTime

Agora podemos entrar na câmera wireless através do Web Browser, Figura 5. Devemos permitir a execução do Plug-in QuickTime.



Figura 5 - Câmera Wireless em tempo real

F. Sobre o MDVR.

O MDVR é um dispositivo que pode ser usado para vídeo vigilância ou monitoramento remoto em veículos (carros, ônibus, veículos de logística, táxis, etc.). Ele possui uma saída para coletar sinais de vídeo dedicados às câmeras do automóvel e às transmitem via host através de um cabo especial de vídeo que realiza a compressão e processamento das imagens para o acesso remoto do usuário. É possível também realizar o acionamento de um alarme pelo motorista ou pelo usuário remoto, que poderá localizar a posição do veículo através da rede 3G. A Figura 6 representa um diagrama esquemático dos modos de aplicações do MDVR.

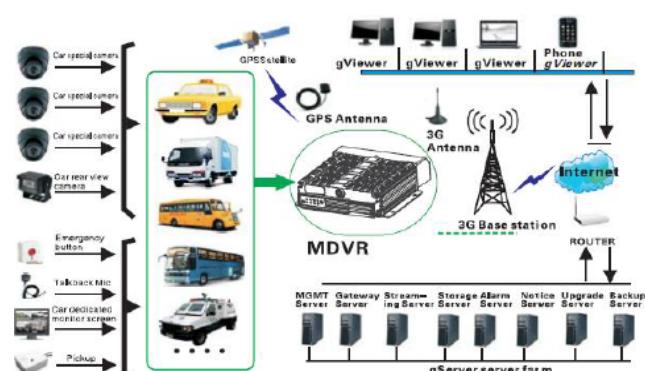


Figura 6 – Diagrama das aplicações do MDVR.

O MDVR – Mobile Digital Video Recorder (Gravador Digital de Vídeo Móvel) possui portas I/O, conforme a Figura 7 e Figura 8.

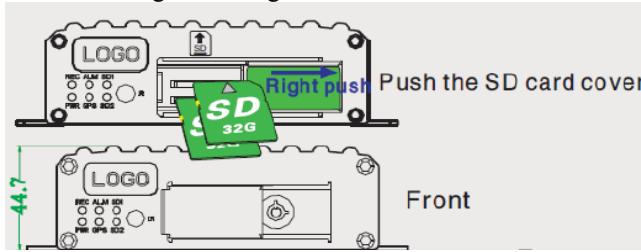


Figura 7 - Mobile Digital Video Recorder (Frontal).

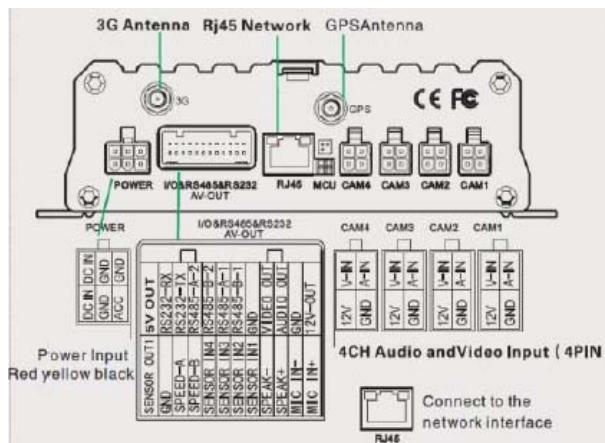


Figura 8 - Mobile Digital Video Recorder.

G. Configuração

Devemos instalar o chip 3G e após isso, teremos que modificar algumas definições do sistema, como seu numero de identificação, IP do servidor, porta de controle, configurações de rede 3G, usuário e senha.

H. Servidor de gerenciamento central (gServer).

O Servidor de Gerenciamento Central é uma Rede Sem Fio de gerenciamento centralizado e monitoramento dos veículos. Também fornece transmissão de áudio e vídeo, dados e outras informações de mídia para que os usuários executem monitoramento de vídeo em tempo real, mapas de posicionamento do GPS, armazenamento de vídeo, reprodução de gravações veiculares e rastreamento. Figura 9.



Figura 9 – Menu gServer.

O CMS é composto por sete Servidores, ou seja:

- 1- Servidor de Login;
- 2- Servidor Gateway;
- 3- Servidor e Fluxo de Mídia;
- 4- Servidor de Gerenciamento de usuário;
- 5- Servidor de Download Automático via WIFI;
- 6- Servidor Web;
- 7- Servidor Cliente Remoto de Monitoramento;

Assim, poderíamos programar uma ou duas das sete funções listadas acima ao MDVR e ao Software, como localização por GPS, Vídeo e Alarmes.

Após estarmos no sistema, adicionaremos os dispositivos e veículos. Em seguida instalaremos o servidor gServer e realizaremos as suas configurações (Porta, Login e outros), como representados na Figura 10 e Figura 11.

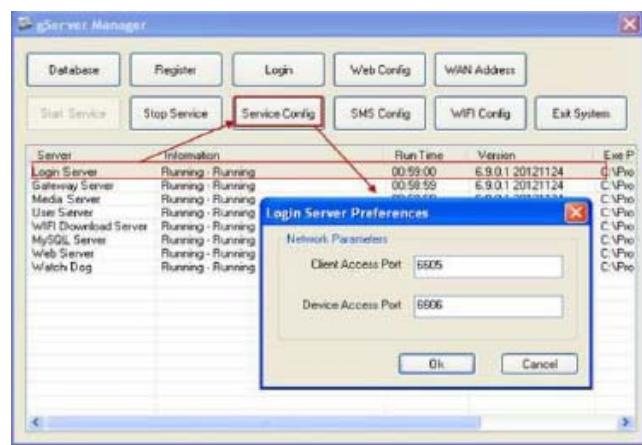


Figura 10 – Configurações de Login.

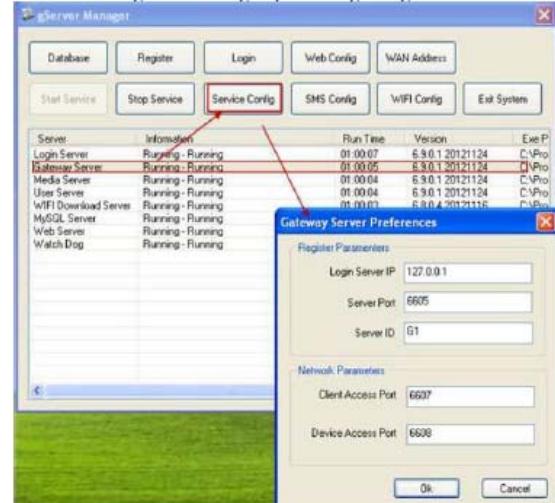


Figura 11 – Configurações de Gateway.

I. Modificando os parâmetros de configuração de rede do Servidor

Após configurarmos toda estrutura de rede, devemos alterar a rede local para rede pública que permitirá o acesso 3G. Figura 12.

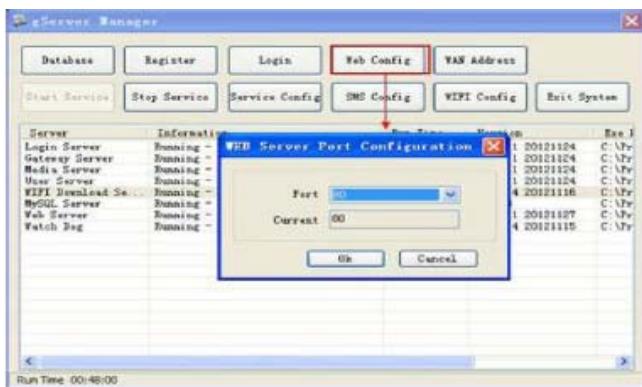


Figura 12 – Alterando a Rede.

J. Configurações do Veículo

Definiremos um número de dispositivo para veículo, como mostra a Figura 13.



Figura 13 - Informações do veículo

K. Configurações de gerenciamento de usuários

A interface de segurança e senha dos usuários é mostrada na Figura 14.



Figura 14 – Configurações de Segurança.

No sistema só terá permissão para modificar as senhas os usuários e administradores. A tela de Login mostrada na Figura 15.



Figura 15– Login do Sistema.

L. Configurações de Rede.

A Interface de configuração de rede é mostrada na Figura 16. O endereço IP e Máscara de gateway são configurações de rede LAN e não há necessidade de entrada se não usarmos os cabos de rede.

Endereço IP do servidor é o único host MDVR usado pela rede 3G para informar a plataforma do servidor central, que geralmente é um IP público fixo. Assim, deveremos configurar seu endereço IP ou então o host 3G não poderá informar a plataforma. Isto será feito em Porta de Controle, onde definiremos o número da porta do servidor gateway.



Figura 16 – Configurações de Rede.

M. Software de monitoramento (MDVRV6 ou gViewer).

Este software nos permitirá ter o acesso remoto e em tempo real ao veículo, trabalhando juntamente ao gServer, fornecendo transmissão de vídeo, áudio, dados e outras informações de mídias para que os usuários executem monitoramento do veículo.

Na Figura 17, podemos observar o seu posicionamento, data e hora, velocidade e principalmente a imagem em tempo real (canto superior esquerdo).

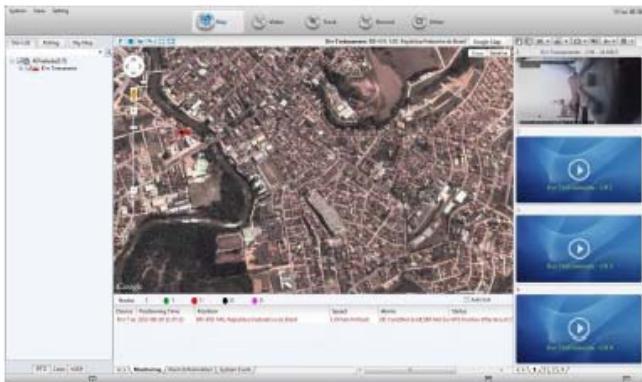


Figura 17 – Veículo rastreado em tempo real.

N. Reparos e aperfeiçoamentos.

Com base em todos nossos estudos no semestre anterior, conseguimos obter êxito em relação à parte teórica do projeto. A partir de agora, tentaremos coloca-lo na prática e realizar alguns reparos, como a instalação de um sim card, que pode ser utilizada no MDVR.

P. Escolha de Novas Tecnologias.

Trabalharemos com a rede de telefonia móvel para envio de fotos por mensagem usando MMS (Multimedia Message System) tiradas pelas câmeras que serão instaladas em pontos estratégicos.

O. Instalação do Software e Hardware

O MDVR que será utilizado conta com entrada para SIM CARD facilitando a implantação do sistema de mensagens usando MMS.

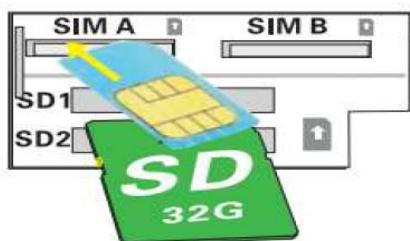


Figura 18 - Instalação do SIM CARD

O tipo de SIM CARD precisa suportar as tecnologias WCDMA / EVDO / TD-CDMA que tem o software de comunicação com a rede móvel instalado em seu próprio hardware. É importante ressaltar que como o módulo tem dois slots para inserção de SIM CARD é de boa escolha usar operadoras com maior área de cobertura.

P. Acesso ao SIM CARD.

O SIM CARD se encontra no painel frontal, onde é preciso o desbloqueio da chave principal para se ter acesso aos slots de armazenamento do SIM CARD. É válido lembrar que para maior segurança o MDVR não liga enquanto a chave principal estiver desbloqueada.

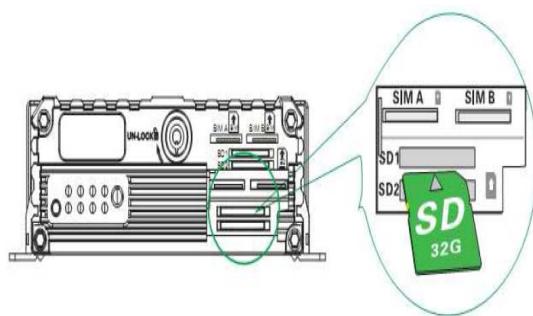


Fig.19 - Vista frontal do MDVR com acesso aos slots do sim card.

Q. Configuração do Módulo SIM CARD para 3G.

Já com o sim card no slot vamos configurar o MDVR para que haja comunicação entre o MDVR com a torre de telefonia e a torre de telefonia com o gServer.

No menu do sistema depois de iniciado modifique o número do dispositivo de 00000 para 99999. Em seguida modifique o número de identificação do veículo para que não haja conflito com outros dispositivos com número não modificado.

Depois de modificar o número do dispositivo e o número de identificação do veículo acesse o Menu Principal - Geral - Rede e configure o endereço IP e a porta de controle do servidor. Logo após acesse Menu Principal - Periféricos - Wi-Fi onde se encontra toda configuração wireless.

Para configuração 3G preencha as funções requeridas como APN (Access Point) e Center Number o nome do usuário é padrão e normalmente não precisa ser modificado. Os passos a seguir são configurações de rede. Assim que a rede estiver conectada através do gerenciamento do software do servidor instalado no computador atribui-se um nome ao servidor de gerenciamento (gServer Manage) e adicionar um veículo. O próximo passo é conectar o Servidor Cliente (gServer Client) para que possa ser visualizado utilizando o nome de usuário.

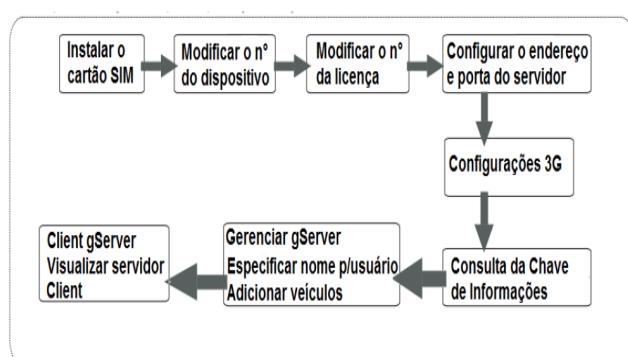


Fig.20 - Processo de conexão a um servidor.

III. BIOMETRIA

R. Introdução básica sobre biometria.

A biometria tem capacidade em estabelecer identidades e reforçar a segurança. Este é um ponto extremamente importante no nosso mundo atual. A biometria está presente em diversas áreas, em diferentes meios de locomoção como Aviões, bancos, presídios, redes de computadores, sistemas de pagamento e até mesmo o processo de votação são todos suscetíveis às brechas de segurança. Neste relatório iremos utilizar um sensor biométrico ligado a um arduino onde possa comparar a digital do condutor com a própria que já estará gravada no sistema. Caso a comparação não for bem sucedida o sistema cortara a ignição do veículo. Veja a imagem mostrada na figura 1.



Fig.21 – Sensor biométrico.

IV. PROCESSAMENTO

S. Ferramentas necessárias para instalação.

Para a correta utilização do aplicativo, é necessária a instalação, nessa ordem, das ferramentas:

- JRE versão 7 – Ambiente de execução Java, necessário para rodar o leitor.
- FingerPrint SDK Versão 2007 – Pacote de aplicativos fornecidos pelo fabricante do leitor biométrico.
- Griaule USB Driver – Aplicativo para reconhecer o leitor biométrico pela porta USB.

T. Instalação do Software.

Para a instalação do aplicativo JRE versão 7 não existe passos a seguir apenas clicar sobre o app. de instalação e clicar em instalar. Para instalar o SDK e Griaule USB Driver será apenas necessária a escolha do idioma antes de clicar sobre a opção instalar

U. Especificação do Leitor Biomédico Digital

Será utilizado sensor biomédico com as seguintes especificações:

- Sensor óptico
- Captura com qualquer ângulo (360º)

- Com sistema de detecção de dedo vivo
- Interface USB 2.0 (Hi-Speed)
- Resolução mínima de 500 DPI
- Área Sensorial mínima: 16,0 mm x 18,0 mm
- SDK (Kit de Desenvolvimento de Software) compatível com a linguagem Visual Basic, C#, Java e/ou outras.

V. CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados sobre este projeto, tendo por meio, vídeos, imagens e até mesmo experiências com a empresa locais, foi possível entender perfeitamente o funcionamento, processamento e como são feitas as transmissões de imagem de uma câmera 3G. Concluímos que por falta de infraestrutura na rede de telecomunicações em cidades de médio e pequeno porte fica muito difícil e às vezes impossível a transmissão de vídeos em tempo real utilizando a rede 3G. Com tudo pra enviar MMS basta apenas ter rede GPRS/EDGE e na maior parte do território brasileiro é encontrado rede que suportam o envio de MMS. Portanto, podemos implementar o projeto e uma das soluções pensadas é a utilização do sensor biométrico para dar maior segurança ao condutor do veículo, pois neste projeto, temos como objetivo instalar somente em carros de transporte, carro forte, ônibus, correios, para assim tentar evitar roubos. Pensamos em realizar um algoritmo que peça para o motorista de uma em uma hora, colocar sua digital para o automóvel continuar em movimento, caso contrário aparecerá uma mensagem: “Insira a digital, caso contrário o veículo será desligado em 5 minutos”.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Manual do Usuário Clear CFTV. URL: http://www.clearcftv.com.br/v02/faq/wa_files/Manual_CL_MDTV_4CH_5104S.pdf, 2014.
- [2] Cobertura das Operadoras e População Atendida. URL: <http://www.teleco.com.br/cobertura.asp>, 2014.
- [3] Atendimento e ERB. URL: <http://www.teleco.com.br/erb.asp>, 2014.
- [4] Tecnologias de Celular. URL <http://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>
- [5] Introdução à biometria <http://www.logicengenharia.com.br/mcamara/alunos/Biometria.pdf>, 2014.

Redes Wi-Fi de Altíssimas Velocidades – Um Estudo Comparativo entre os Padrões 802.11ac e 802.11ad (Giga bit Wi-Fi/WiGig)

Edson Josias Cruz Gimenez

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
edsonjcg@inatel.br

Ricardo Portugal

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
ricardop@gee.inatel.br

Víctor Hugo Rodrigues de Barros

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
victorrb@gee.inatel.br

Resumo—Este documento visa comparar duas tecnologias Wi-Fi recém-homologadas: Os padrões 802.11ac e 802.11ad. Com o crescimento da demanda por banda dentro dos ambientes de redes, fabricantes e pesquisadores não medem esforços para aprimorar o acesso ao meio tanto via cabo quanto sem fio. Hoje, além de mobilidade, os usuários exigem qualidade e altas larguras de banda. Por esse motivo, várias técnicas vêm sendo aprimoradas e novos conceitos vêm surgindo no mercado. O objetivo desse artigo é mostrar ao seu leitor, um estudo comparativo entre os dois padrões Wi-Fi citados acima, demonstrando vantagens, desvantagens, aplicabilidades e conceitos.

Palavras-chave— Mobilidade, Conectividade, Sem Fio, Alta Velocidade.

I. INTRODUÇÃO

As redes Wireless vieram com intuito de promover o que hoje é uma das características mais procuradas pelos usuários de equipamentos, a mobilidade. Para fazer isso, foi preciso muito trabalho e dedicação dos órgãos reguladores para que equipamentos transmissores e receptores pudessem falar da melhor maneira possível respeitando pré-requisitos básicos como uso do espectro de frequência, potências de transmissão e sistemas de codificação e correção de erros visto que no ar, o sinal é facilmente degradado.

O IEEE (Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica) desenvolveu padrões para vários tipos de rede de dados.

Neste artigo, como bem dito, nos basearemos nos padrões 802.11x. Mais especificamente nos padrões 802.11ac e 802.11ad recém-lançados e que provém taxas de transmissão elevadas se baseando em características que serão abordadas nesse trabalho.

Os padrões existentes e suas respectivas ramificações estão ilustrados na Figura 1:

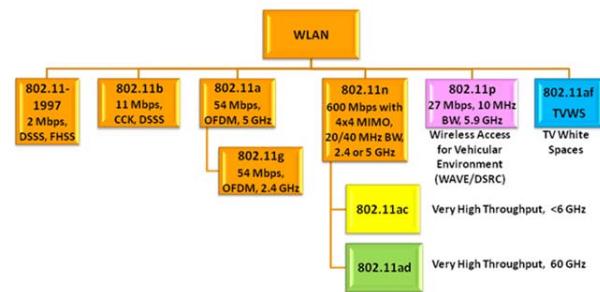


Fig. 1. Padrões existentes para redes WLAN [2]

II. 802.11AC CONCEITOS BÁSICOS

Desenvolvido entre 2011 e 2013, o padrão 802.11ac definitivamente veio para se consolidar no mercado. Baseado no 802.11n modelo imediatamente anterior, o padrão se apoia em 3 grandes pilares para promover melhor desempenho: aumento da largura de banda do canal, aumento da eficiência espectral e da relação sinal ruído. [1]

A. Largura de Banda do Canal

A largura de banda do canal aumentou consideravelmente. A Tabela I ilustra um comparativo entre os padrões anteriores e o padrão 802.11ac.

TABELA I
RELAÇÃO ENTRE PADRONIZAÇÃO E SUA RESPECTIVA LARGURA DE BANDA [1].

Padronização	Largura de Banda do Canal
802.11b	5MHz
802.11a/g	20MHz
802.11n	20/40MHz
802.11ac	80/160MHz

B. Técnicas utilizadas para maximizar a eficiência espectral

- OFDM

Do inglês *Orthogonal frequency-division multiplexing*, também conhecido como *Discrete Multitone Modulation* (DMT), é uma técnica de modulação baseada na ideia de multiplexação por divisão

de frequência (FDM), onde múltiplos sinais são enviados em diferentes frequências. Muitos são familiarizados com FDM pelo uso de aparelhos de rádio e televisão: normalmente, cada estação é associada a uma determinada frequência (ou canal) e deve utilizá-la para realizar suas transmissões. OFDM parte deste conceito, mas vai além, pois divide uma única transmissão em múltiplos sinais com menor ocupação espectral. Isto adicionado com o uso de técnicas avançadas de modulação em cada componente, resulta em um sinal com grande resistência à interferência. [3]

- **Modulação**

Aumento da constelação subindo de 64QAM (*Quadrature amplitude modulation*) para 256QAM. Entenda que, quanto maior a constelação, maior a quantidade de bits enviados. Analisando somente essa vertente, conclui-se que a taxa iria crescer. Porém, com o aumento da constelação, a probabilidade do receptor errar ao escolher um símbolo aumenta. Logo, somente aumentar a constelação não é uma solução inteligente. Técnicas de correção de erro mais complexas necessitam ser implementadas para que se possa garantir uma boa probabilidade erro. Esse tópico não faz parte do artigo e logo não será abordado com profundidade. [1]

- **MIMO (Multiple Input – Multiple Output)**

Essa tecnologia permite o uso de múltiplos fluxos de dados a fim de aumentar taxas de transmissão (SM - *Spatial Multiplexing*) ou melhorar a SRN (*Signal to Noise Ratio*) via *Transmit Beamforming* no sentido *Downlink* e MRC (*Maximal Ratio Combining* - Combinação de Máxima Relação) no sentido *Uplink*. O *Transmit Beamforming* permite tomar vantagem das múltiplas vias transmitidas para aumentar o sinal recebido pelo receptor. Ao mesmo tempo, no sentido de *Uplink*, o MRC permite utilizar os vários receptores do MIMO para combinar os sinais recebidos (corrigidos em amplitude e fase) de modo a obter um ganho de diversidade de recepção máximo. [1]

O padrão 802.11ac trabalha com MU-MIMO (*Multi-User MIMO*), permitindo a transmissão e recepção de sinal de vários terminais, como se estes trabalhassem de maneira colaborativa na mesma frequência [1], além de operar exclusivamente no espectro de frequência de 5 GHz, o que difere das atuais tecnologias Wi-Fi que transmite na frequência de 2.4 GHz, tendo assim, um maior número de canais disponíveis e uma banda com menor lotação no espectro, o que torna este padrão mais rápido, visto que o número de canais é mais importante do que seu tamanho, ou seja, é preferível ter mais canais em vez de menos canais que possuem uma maior capacidade. Logo, como este protocolo oferece mais capacidade, o mesmo, resolve o problema de querer aumentar o número

de dispositivos que, dentro de uma mesma banda, possam transmitir utilizando apenas um único canal, o que causaria uma redução na eficiência Wi-Fi. [1]

C. Características Importantes

O padrão 802.11ac requer que todas as transmissões sejam uma agregação A-MPDU (*Aggregated Mac Protocol Data Unit*) que é uma técnica que tem como objetivo transmitir vários quadros agregados mantendo-se o mesmo cabeçalho. Tal técnica foi implementada a fim de reduzir a sobreposição de quadros consecutivos. Outra técnica que tem objetivo similar é a RIFS (*Reduced Interframe Spacing*), porém o 802.11ac não permite o uso da mesma. [1]

O modelo RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*), utilizado no Wi-Fi tradicional foi melhorado. O transmissor inicia o RTS enviando 4 RTS de 20MHz em um canal de BW igual a 80MHz. O receptor faz seu papel respondendo com o CTS informando se o canal está limpo. Caso o transmissor não perceba uma interferência de transmissão em 80MHz (RTS), o receptor pode perceber uma interferência total ou em parte ou em todo o canal. Na primeira situação, o receptor enviará um CTS apenas na parte livre do canal. Na segunda, não haverá transmissão de CTS e o processo retornará do início. [1]

III. FAIXA DE FREQUÊNCIA

A faixa de 5GHz, no Brasil, é subdividida em: 5150 – 5350 para uso *indoor*, 5.470-5.725 para uso *indoor* ou *outdoor*, com restrições de proteção a interferência de radar (controle automático de potência e seleção dinâmica de frequência) e 5.725-5.850MHz para uso *outdoor*. Logo, no Brasil há a possibilidade se usar dois canais de 80MHz ou um canal de 160MHz para a implementação do 802.11ac. A Figura 2 ilustra como o canal é utilizado:

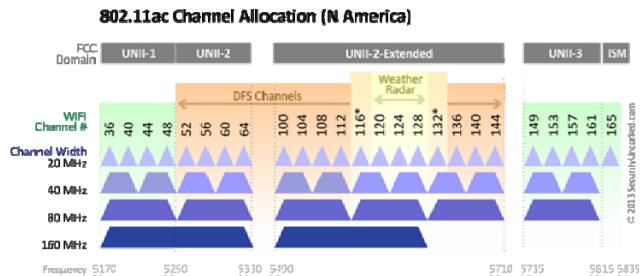


Fig. 2. Canalização no espectro de 5GHz [4]

IV. TAXA DE TRANSMISSÃO

Além do discutido acima, essa nova tecnologia garante taxas de transmissão de até 1.300Mbps, ou seja, mais do que o dobro da atual especificação, que garante produtos operando a até 600Mbps. Mesmo trabalhando apenas na frequência de 5GHz, os dispositivos 802.11ac são compatíveis com as redes 802.11n, permitindo assim transferências de dados de até 450 Mbps. [5]

A Tabela II compara as taxas de transmissão dos padrões 802.11n e 802.11ac.

TABELA II
TAXA DE TRANSMISSÃO 802.11N X 802.11AC [5].

Number of Streams	802.11n	802.11n	802.11ac	802.11ac
	20 MHz	40 MHz	80 MHz	160 MHz
1	75 Mbps	150 Mbps	433 Mbps	867 Mbps
2	150 Mbps	300 Mbps	867 Mbps	1.7 Gbps
3	225 Mbps	450 Mbps	1.3 Gbps	2.6 Gbps

Através das melhorias propostas pelo padrão 802.11ac, os novos roteadores e receptores poderão trocar dados e informações para a transmissão de vídeos em *Full HD* e com tecnologia 3D, realizando múltiplas conexões de alta velocidade para transferir esse tipo de conteúdo.

Um grande e importante diferencial deste novo protocolo é o alcance do sinal. Em teoria, os novos aparelhos podem realizar transmissões para computadores ou outros aparelhos que estejam a até 200 metros de distância. [6]

A Figura 3 ilustra a relação Taxa de Transmissão x Alcance de alguns padrões Wi-Fi.

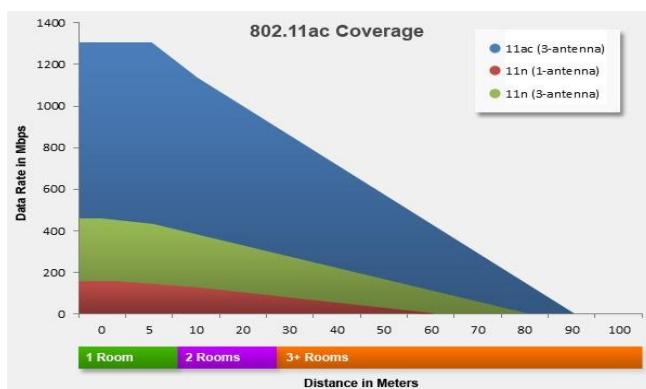


Fig 3. Taxa de Transmissão x Alcance [5]

Porém, o mais importante não é a cobertura do sinal e sim a qualidade que ele é transmitido. Como mostrado anteriormente, o *Beamforming* se utiliza de várias vias de transmissão para o sinal chegar ao receptor com maior nível de potência, representado na Figura 4. [7]



Fig 4. Forma de propagação das ondas utilizando a tecnologia Beamforming. [6]

Com todas as melhorias apresentadas, o 802.11ac é uma excelente forma de atualizar uma rede domiciliar que consta de vários dispositivos multimídia, eliminando o

grande congestionamento que tais equipamentos poderiam causar nesta rede com os padrões atuais.

É preciso ainda considerar que somente os aparelhos que surgiram no segundo semestre de 2014 serão compatíveis com a nova especificação [6].

V. 802.11AD CONCEITOS BÁSICOS

O mais novo padrão para redes sem fio desenvolvido pelo IEEE e está com previsão de lançamento para o início do ano de 2015. Assim como nos padrões anteriores, se apoia em características importantes para entregar o que é prometido.

A. Largura de Banda do Canal

A largura de banda disponível para transmissão aumentou abruptamente, passando de 160MHz do 802.11ac para incrível 1760MHz. A Tabela III descreve como ocorre a distribuição de frequências por canal dentro do padrão 802.11ad

TABELA III
CANALIZAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DO PADRÃO 802.11AD

Canal	Frequência Inicial (GHz)	Frequência Central (GHz)	Frequência Final (GHz)	BW (MHz)	Espaçamento do Canal (MHz)
1	57240	58320	59400	1760	2160
2	59400	60480	61560	1760	2160
3	61160	62240	63320	1760	2160
4	63720	64800	65880	1760	2160

B. MIMO e OFDM

Assim como no padrão 802.11ac, as técnicas utilizadas para atingir altíssimas velocidades com alta qualidade e desempenho são o MIMO e o OFDM.

A Figura 5 mostra como é feito o ganho de diversidade para que o sinal chegue mais forte ao receptor. Ele pode ser transmitido e recebido de diversos caminhos e também podem ser criados links ponto a ponto. Como já explicado, o MIMO permite que várias antenas possam trabalhar em conjunto e consequentemente aumentar o ganho de diversidade do sinal. Aumentando a quantidade de antenas, é possível então aumentar a quantidade de fluxo trafegado e consequentemente atingir maiores taxas de transmissão. A figura abaixo compara o padrão MIMO (puro) com o MU-MIMO.

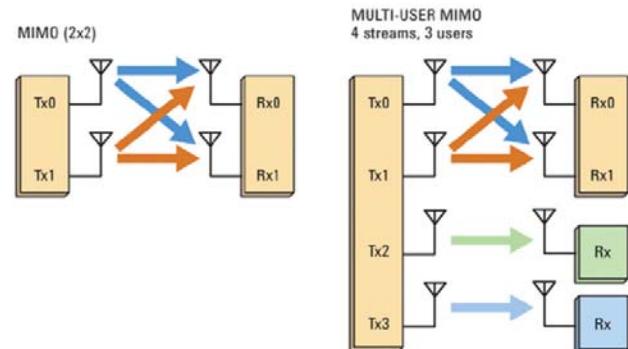


Fig 5. Modelo de transmissão para técnica de OFDM para 802.11ad [7].

C. Faixa de Frequência

O padrão 802.11ad utiliza a banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 60GHz para propagação do sinal, que são faixas de frequências destinadas e liberadas com o propósito de se desenvolver equipamentos para no ramo industrial, científico e equipamentos médicos.

D. Taxa de Transmissão

Podendo ter velocidade de transferência de dados de até 6,756Gbps utilizando a técnica de OFDM, cinco vezes mais rápido que o padrão N anterior, esta tecnologia torna o sinal capaz de abranger barreiras físicas e suprimir interferências, podendo chegar a taxas de transmissão de 4,6Gbps (utilizando apenas uma portadora), permitindo assim transferir arquivos de 1GB em apenas três segundos em aparelhos vinculados à mesma rede.

É possível atingir a velocidade máxima omitindo a interferência co-canais, independentemente do número de aparelhos que fazem uso da rede.

A matriz de 32x32 utilizando MIMO é que permite a transferência de um filme, por exemplo, de 1GB em menos de 3 segundos, realizado por um aglomerado de antenas específicas, que desconhecem objeções como paredes e portas para manter o sinal com a mesma intensidade e máxima velocidade. Enquanto sinais de alta velocidade utilizados atualmente podem apresentar perdas em sua qualidade, quando são compartilhados nos mesmos canais, a nova tecnologia pretende manter a mesma invariável, utilizando cerca de 2GHz do espectro de 60GHz em um curto intervalo, eliminando ainda a interferência co-canais como mostrado na Figura 6:

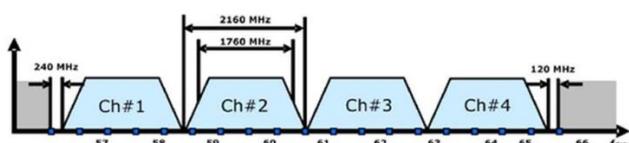


Fig 6. Modelo de transmissão para técnica de OFDM para 802.11ad [7].

A Tabela IV apresenta um resumo das principais características do padrão 802.11ad:

TABELA IV
CARACTERÍSTICAS 802.11AD [1]

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
Frequência de operação	Banda ISM de 60 GHz
Máxima taxa de dados (Mbps)	6756
Distâncias (Metros)	1-10
Largura do Canal (MHz)	2160
Formatos de modulação	Portadora única e OFDM

Além dos detalhes observados na Tabela IV, o sistema utiliza um padrão de camada MAC que é compartilhada com os atuais padrões 802.11, permitindo a comutação de sessão entre as redes Wi-Fi que operam nas frequências de 2,4GHz e 5GHz com aqueles que utilizam a frequência de 60GHz. Ocorre então a compatibilidade com os demais padrões anteriores (a, b, g, n e ac).

No entanto, a camada 802.11ad MAC foi atualizada para abordar aspectos de acesso ao canal, envolvendo a sincronização de associação e de autenticação, necessárias para o funcionamento de 60GHz.

O 802.11ad é um padrão que apresenta melhorias nos recursos já aplicados no 802.11n pois faz o uso do espectro acessível e não licenciado na faixa de 60GHz, onde há grande oferta de banda, apresentando como maior utilidade a comunicação em até quatro canais de 2.16GHz [3], com taxas de transferência de até 7Gbps, mesmo em aparelhos móveis com contenção de energia. Como explicado anteriormente, devido à compatibilidade com os outros padrões, a nova tecnologia 802.11ad empregada nos aparelhos poderá permitir o tráfego entre redes distintas de 2,4, 5 e 60GHz, logo, não será necessária alta demanda de energia, permitindo às baterias dos dispositivos móveis maior autonomia.

Contudo, por utilizar altas frequências, o padrão 802.11ad apresenta um alcance de poucos metros, por exemplo em uma sala, porém permitindo transferência de dados de alto volume e rapidez, tais como transferências de vídeo HD. Em caso de maiores distâncias o padrão 802.11ac poderá ser utilizado.

VI. Conclusões

Com vasta pesquisa feita nesse artigo, notou-se que os esforços realizados para que experiência do usuário dentro de uma rede sem fio cresça é bastante grande. A busca por maiores taxas e qualidade no sinal recebido tornou-se prioridade visto que hoje não importam as altas taxas se estamos presos a um cabo de rede. O padrão 802.11ac, que hoje já está no ambiente comercial, num futuro próximo estará acessível a grande parte da população mundial. Por hora, o valor de um AP (Access Point – Ponto de Acesso) é um pouco elevado, em torno de R\$1200,00. Já o padrão 802.11ad está em fase de desenvolvimento/homologação, visto que muitos órgãos ainda temem uma transmissão *indoor* na faixa de 60GHz.

O padrão 802.11ad tem os mesmos objetivos que o 802.11ac, mas com uma pequena melhoria: possibilitar transmissão de informações que necessitam alta largura de banda como, por exemplo, HDTV sem compressão. Certamente essas duas tecnologias serão primordiais para aprimorar a comunicação sem fio. Como grande vantagem, vimos as altas taxas de transmissão e como principais desvantagens apontam-se para custo e compatibilidade quando se trata do padrão 802.11ac. Para o padrão 802.11ad a grande vantagem também é a alta

taxa de transmissão e as desvantagens são alcance (em torno de 10 metros), custo e a alta irradiação promovida pela frequência de 60GHz.

VII. REFERÊNCIAS

- [1] P. Eldade and X. Gong Michelle, “Gigabit Wireless LANs: an overview of IEEE 802.11ac and 802.11ad”
- [2] Família 802.11x. Disponível em: < <http://mwrf.com/test-amp-measurement/what-s-difference-between-ieee-80211ac-and-80211ad>>. Acesso em: 10 jan. 2015
- [3] L. Pinto Ernesto e P. Claudio, “A técnica de transmissão OFDM”. Revista Científica Periódica – Telecomunicações, Vol. 05, nº 01. Inatel: Junho, 2002.
- [4] Canalização 802.11ac. Disponível em: < <http://www.geekzone.co.nz/sbiddle/8728> >. Acesso em: 12 jan. 2015.
- [5] Taxa de transmissão e Alcance: 802.11n x 802.11ac < <http://www.anandtech.com/show/5601/broadcom-announces-new-combo-chips-bcm4334-bcm43241-shows-80211ac-once-more> > Acesso em 15 jan 2015.
- [6] Propagação da onda via Beaforming < <http://tec-wi.com.br/blog/wi-fi-802-11ac-as-redes-sem-fio-de-alta-velocidade-vem-ai/> > Acesso em 20 fev 2015.
- [7] Propagação OFDM / MIMO e Canalização 802.11ad < <http://www.dailystech.com/Samsung+Develops+80211+AD+WiFi+But+Will+it+be+Sunk+by+Poor+Penetration/article36707.htm> > Acesso em 22 fev. 2015.
- [8] GAST, M. S. - “802.11ac: A Survival Guide - Wi-Fi at Gigabit and Beyond”. O'Reilly Media. August, 2013.
- [9] GAST, M. S. - “802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 2nd Edition”. O'Reilly Media. May, 2005.
- [10] PERAHIA, Eldad. – “Next generation wireless LANs: throughput, robustness, and reliability in 802.11n”. Coautor Robert Stacey. United Kingdom: Cambridge, 2008.

Análise da Viabilidade Técnica e Econômica para a “Smart Grid”, com foco em “Smart Meter”

Renata de Oliveira

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
renataoliveira@get.inatel.br

Paulo Henrique Teles de Souza
Ramos

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
pramos@get.inatel.br

Pedro Sergio Monti

Instituto Nacional de
Telecomunicações - Inatel
pedro@inatel.br

Resumo— O Sistema de Energia Elétrica atual está sofrendo grandes transformações. Estas transformações estão baseadas na comunicação em tempo real integrado à rede entre diversos elementos da rede desde a geração, transmissão. Este conceito recebe o nome de “Smart Grid” que é definida como a aplicação de tecnologia da informação para o sistema elétrico de potência, integrado aos sistemas de comunicações e infraestrutura de rede automatizada.

Este artigo discute alguns dos desafios e oportunidades de pesquisas na implementação da “Smart Grid”. Em particular, vamos nos concentrar no estudo da viabilidade técnica e econômica deste conceito com foco no “Smart Meter”. Por fim, também apresentaremos o estágio atual do Projeto Cidades do Futuro da Cemig e as redes de telecomunicações utilizadas nos projetos pilotos espalhados pelo Brasil.

Palavras-chave—Smart Grid, Smart Meter, Redes de Telecomunicação e Projeto Cidades do Futuro.

I. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico mundial está passando por uma evolução histórica. O conceito “Smart Grid” é o responsável por tal, ele propõe transformar o atual sistema elétrico em uma rede automatizada e inteligente. Esta rede será capaz de coordenar, monitorar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores, usuários de forma a aperfeiçoar a utilização e operação dos ativos no processo, minimizando os custos e impactos ambientais enquanto mantém a confiabilidade, resiliência e estabilidade do sistema.

Como toda inovação tecnológica em andamento, a disseminação das “Smart Grids” requer grandes investimentos, levantando discussões sobre a sua viabilidade econômica e a melhor forma de implantá-las. O maior desafio na implementação das “Smart Grids” são os custos de implementação, eles exigem que o governo trabalhe de forma conjunta com as agências reguladoras, concessionárias e consumidores visto que estes custos podem impactar no valor da fatura de energia. O fator mais preocupante é o custo de substituição dos atuais medidores pelos “Smart Meters”. A

viabilidade da substituição dos mesmos depende de que o valor dos benefícios seja igual ao valor dos custos. Outro fator que requer atenção é o custo de implementação da infraestrutura de comunicação que irá demandar investimentos na ordem de bilhões de reais.

Em todo o mundo, há diversas iniciativas de estudo e disseminação de redes inteligentes, podendo citar os projetos dos Estados Unidos, China e Europa, nos quais a implementação das “Smart Grids” se encontra em um estágio avançado. [1] No Brasil, as iniciativas práticas ainda estão em fase de desenvolvimento, limitando-se a diversos projetos pilotos das concessionárias de energia como : Cemig, Light, AES Eletropaulo e Copel. Os custos incluem: compra e instalação; leitura mensal. O custo de implantação das “Smart Grids” não se resume a despesa de instalação do “Smart Meter”. [1] [2]

Este artigo busca explicar o funcionamento da “Smart Grid”, tecnologias implementadas, desafios e possibilidades. A segunda e terceira seção conceituam o smart meter e seus desafios de implementação, na quarta apresentamos os desafios tecnológicos e econômicos no desenvolvimento desta rede. Na quinta seção são apresentadas as redes de telecomunicações e o projeto Cidade do Futuro da Cemig. Por fim as conclusões obtidas neste projeto de pesquisa.

II. SMART GRID

O sistema elétrico que conhecemos está sofrendo uma mudança histórica, devido ao fato de se ter evoluído pouco tecnologicamente ao longo de muitos anos. Todo o sistema energético encontra-se em um momento crítico, onde o atual modelo está prestes a sofrer modificações por falta de estrutura.

Conseguir uma eficiência maior das redes elétricas é algo necessário, o que traz um grande desafio, projetar uma tecnologia inovadora que supra a necessidade do consumidor e aumentar a confiabilidade do sistema de transmissão e distribuição de energia, assim integrando ao sistema fontes de energia limpa.

A ideia das “Smart Grids” está ai para solucionar grande

parte dos problemas encontrados pela matriz energética atual.

A IEA (International Energy Agency) define Smart Grid como: "... uma "Smart Grid" é uma rede de eletricidade que usa tecnologia digital para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade a partir de todas as fontes de geração encontrando uma variedade de demandas e usuários. Essas redes estarão aptas a coordenar as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores, usuários finais e stakeholders do mercado de eletricidade de forma a aperfeiçoar a utilização e operação dos ativos no processo, minimizando os custos e impactos ambientais enquanto mantém a confiabilidade, resiliência a estabilidade do sistema". A Figura I mostra a topologia da "Smart Grid".

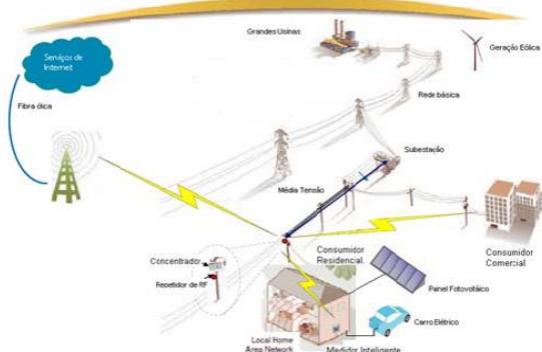


Figura I – Topologia da "Smart Grid" (Fonte [3])

"Smart Grid" é mais do que uma tecnologia inovadora para solucionar os problemas da atual matriz energética. Trata-se de um conceito abrangente que faz uso de diversas tecnologias de automação e comunicação, proporcionando uma infraestrutura mais integrada entre geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Algumas das características geralmente atribuídas à "Smart Grid" são [3] [4]:

- Auto-recuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- Empoderamento do Consumidor: habilidade de incluir os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- Tolerância a Ataques Externos: capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e ciber-ataques;
- Qualidade de Energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- Acomodar uma Grande Variedade de Fontes e Demandas: capacidade de integrar de forma transparente (plug and play) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologia;
- Reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade: reduzindo perdas e utilizando fontes de baixo impacto ambiental;
- Viabilizar e beneficiar-se de mercados competitivos de energia: favorecer o mercado varejista e a microgeração.

Essas características poderão ser alcançadas através da

introdução das seguintes áreas de inovação tecnológica [3]:

- Automação e controle digital da rede elétrica, utilizando controles eletrônicos inteligentes, capazes de antecipar-se a perturbações e corrigi-las antes que as mesmas ocorram;
- Introdução de medição inteligente com a capacidade de funcionar como um portal inteligente do consumidor que permitirá a disponibilização de sinais de preço e outras informações;
- Integração de um grande número de fontes de geração e armazenamento de energia de pequena e média capacidade, intermitentes ou contínuas, permitindo ao consumidor comprar e vender energia da rede.

Os benefícios proporcionados pela "Smart Grid" justificam os grandes investimentos que vêm sendo feitos no Brasil e no mundo. Para o Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, o conceito "Smart Grid" é tido como uma das tecnologias mais promissoras dessa década. Em entrevista ao site "Smart Grid News" Dr. Claudio Lima, IEEE Vice Chair declarou: "O "Smart Grid" encontra-se hoje num estágio de evolução embrionário, semelhante ao da Internet no começo dos anos 80 [...]. Temos muito ainda o que fazer e isso representa um potencial de oportunidade enorme para as empresas, concessionárias de energia, fornecedores de tecnologia, governos e consumidores." [4]

A implementação do conceito de "Smart Grid" é possível através das seguintes áreas tecnológicas [5]:

- Dispositivos de Eletrônica de Potência: dispositivos capazes de controlar o sistema de energia elétrica com a velocidade e precisão dos microprocessadores, porém atuando em níveis de potência milhões de vezes maiores;
- Geração Distribuída e Micro geração: localização da geração próxima ao uso final, com potencial para melhorar a confiabilidade e segurança de comunidades e consumidores individuais;
- Dispositivos de Armazenamento de Energia: melhora o suprimento às cargas sensíveis a flutuações na qualidade de energia da rede;
- Sistema Integrado de Comunicação: permite comunicação instantânea entre todos os equipamentos críticos do sistema, permitindo o monitoramento, controle e correção;
- Sensores: redes de sensores inteligentes.

A aplicação da tecnologia "Smart Grid" na medição possibilita influenciar o comportamento do consumidor através de tarifas flexíveis e eliminar custos operacionais ao longo do processo de implementação e consolidação do projeto. Esta redução ocorre a partir dos IEDs (Intelligent Electronic Devices), que são dispositivos eletrônicos que possuem a função de programar um aparelho para operar apenas em períodos com tarifa elétrica baixa, ou seja, fora do horário de pico. E com a implantação da "Smart Grid", estima-se uma redução na carga do SIN da ordem de 2,212 TWh/ano, advinda de redução no consumo total 1,191 TWh/ano, redução de perdas técnicas (0,271 TWh/ano)

e de rebatimentos da redução de perdas não-técnicas (gatos) 0,75 TWh/ano.

A. Cenário Nacional

O mercado brasileiro de “Smart Grid” é visto com grande potencial por muitos países e representa uma grande oportunidade para o desenvolvimento de negócios. No período de 2011-2015, o Brasil pretende investir uma quantia superior a U\$7,9 bilhões sendo que, a maior parcela dos investimentos será nos “Smart Meters” como demonstrado no Gráfico 1.

Fonte [6]

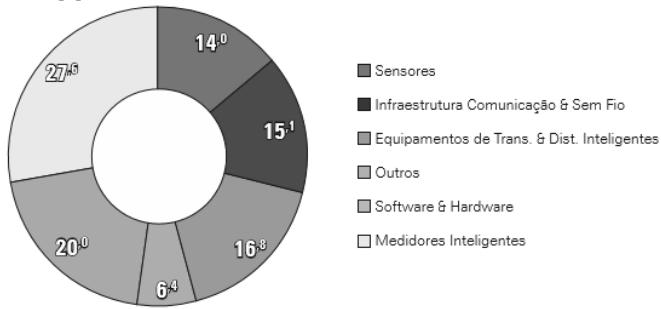


Gráfico 1 - Previsão de investimentos em “Smart Grid” no Brasil (em %)

Existem diferentes motivadores para o interesse brasileiro em “Smart Grid”. Os mais importantes são: segurança e eficiência energética.

Segundo a ANEEL, no ano de 2011 existiam mais de 700 projetos de P&D cadastrados dos quais 52 tem como objetivo avaliar os principais aspectos da implantação de “Smart Grid” e cujos investimentos previstos totalizavam cerca de R\$ 150 milhões.

No Brasil as tecnologias que permitem automação inteligente em subestações de transmissão no contexto “Smart Grid” já se encontram em estágio avançado. A norma IEC 61850 vem sendo utilizado nas instalações de empresas de energia elétrica em todo território nacional e também há utilização no setor de óleo e gás. A PETROBRAS vem investindo em equipamentos para suas plantas e subestações com o objetivo de ter supervisão de medidas, balanceamento de carga automático, proteção de falta de disjuntor, etc. Mensagens GOOSE já são utilizadas até mesmo para funções críticas como “trip” em caso de faltas. Esta norma foi definida para controle e supervisão de equipamentos do sistema elétrico e permite a troca de dados entre equipamentos em uma rede local de forma bastante rápida através de pacotes de dados SMV (Sampled Values) e pacotes GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) que não utilizam TCP/IP. Para comunicação com equipamentos centrais de supervisão a norma define uma pilha de protocolos bastante semelhante ao utilizado para ICCP, pois o IEC 61850 também é mapeado no protocolo MMS (Manufacturing Message Specification).

Permissões do protocolo:

- Através de mensagens de supervisão e controle, obter medidas como status e medidas analógicas e enviar controles

de supervisão.

- Automatizar o processo de projeto de sistema de subestação através de ferramentas que manipulam a descrição por SCL (Substation Configuration Language), uma linguagem baseada em XML (Extensible Markup Language). Este processo automatizado permite reduzir recursos para projetos como tempo e custos.

- Automatizar determinadas funções de subestação, como sequência de controles em caso de faltas, através de mensagens GOOSE intercambiadas entre os vários dispositivos inteligentes presentes na rede local.

Há aplicações nas distribuidoras de energia que visam permitir o restabelecimento automático da subestação em caso de falta assinalada pelo sistema de proteção. Nas instalações dos centros de controle, o protocolo ICCP (Inter-Control Center Communications Protocol) já se encontra bastante disseminado. Este protocolo permite a distribuição de dados de forma que todos os centros responsáveis por contingência mantenham os dados em tempo real não só sob sua supervisão, mas também os dados sobre os quais será responsável em eventualidade por contingência. O emprego de ambos (IEC 61850 e ICCP) encontra-se em estágios bem avançados nas empresas e operadores do setor energético. Ao passo que o modelo CIM (Common Information Model) se encontra em um estágio mais preliminar. No entanto, a tendência por sua utilização na modernização dos centros de controle do ONS é dada como certa.

Muitos sistemas já utilizam comunicação em tempo real, por exemplo, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Nesse caso a comunicação necessariamente ocorre por protocolo de comunicação. Atualmente vem se consolidando a tendência no uso de redes compartilhadas e baseadas em pacotes. Essa tendência vem da força da arquitetura da internet que também se baseia em redes de pacotes as redes IP (Internet Protocol). A tendência é utilizar protocolo ICCP (Intercontrol Center Communications Protocol) para comunicação entre centros de controle e também como solução inter-SCADA nas próprias empresas, por exemplo, ao transmitir informação em tempo-real de centros regionais para um centro de operação da empresa.

Uma das grandes vantagens da modernização dos centros de controle é a sua capacidade de ter redundâncias de forma a garantir a operação do sistema com alta disponibilidade. O protocolo ICCP permite a distribuição de dados de forma que todos os centros responsáveis por contingência mantenham os dados em tempo real não só sob sua supervisão, mas também os dados sobre os quais será responsável em eventualidade por contingência.

Em termos experimentais, muitas empresas distribuidoras estão conduzindo projetos pilotos. O projeto mais avançado do ponto de vista de desenvolvimento de tecnologias “Smart Grid” é conduzido pela Light e CEMIG que investirão cerca de 65 milhões de reais em projetos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) cujo escopo prevê todas as fases tradicionais do programa: aplicação de pesquisa, protótipos industriais, inclusive o “Smart Meter”.

B. Cenário Internacional

Estados Unidos: Nos Estados Unidos, um artigo temático do Department of Energy – DoE, voltado para conscientização dos consumidores, ressalta que as Smart Grids ajudarão a levar o consumo de energia elétrica ao século 21, utilizando megabytes para suprir megawatts de forma mais eficiente, confiável e acessível. [7]

O presidente dos Estados Unidos, Barack Obama, anunciou no dia 27 de Outubro de 2009 um pacote de investimento de US\$3,4 bilhões para modernizar a sua rede de energia elétrica, visando a transformação para o sistema Smart Grid, com o objetivo de diminuir o consumo de eletricidade, através de programas para os consumidores, ações de eficiência energética e incentivo ao desenvolvimento formas de energias renováveis. Os recursos são provenientes do programa de recuperação econômica do país, American Reinvestment and Recovery Act. A expectativa é de que, com a aplicação de verbas pelo setor público, a iniciativa privada responda com investimentos de mais de US\$4,7 bilhões, o que representaria um total de US\$8 bilhões aplicados. [8]

Além de criar uma rede mais confiável, o programa americano visa criar dezenas de milhares de empregos no setor. Segundo análise do Electric Power Research, a iniciativa ainda pode reduzir o consumo de eletricidade em mais de 4% até 2030 - o que significaria a economia de US\$20,4 bilhões para empresas e consumidores. [8]

Segundo o autor Clark W. Gellings a implantação de redes inteligentes nos Estados Unidos faz-se necessária pelo fato do sistema elétrico não estar preparado para as novas formas de consumo. Além do desafio de interligar o sistema de transmissão do país, a instalação de grandes plantas de geração a partir de fontes renováveis, principalmente solar e eólica, os blecautes e o envelhecimento dos ativos exigem expansão do sistema de transmissão e uso de novas tecnologias.

China: A China é o maior consumidor mundial de energia elétrica e a demanda de eletricidade chinesa aumentou rapidamente durante a primeira década do século 21. A expectativa é de dobrar na próxima década e triplicar até 2035. Em 2010, 70% da geração de eletricidade da China veio de usinas de energia movidas a carvão, mas agora o governo chinês está investindo fortemente em tecnologias de energia renovável. Em última análise, a China se esforça para dominar o mercado de tecnologia de energia limpa no exterior. Desde 2012, 17% da geração de eletricidade da China provém de fontes renováveis e seu objetivo é aumentar a energia renovável em mais 9,5% do consumo total em 2015. Para implementar a nova capacidade da China de energia limpa a rede elétrica nacional irá requer atualizações de infraestrutura e, em última análise, uma rede inteligente. [12]

O mercado de Smart Grid na China cresce a uma taxa anual média de 28,30% em relação ao período 2012-2016. Um dos principais fatores que contribuem para o crescimento desse mercado é a necessidade crescente de redes de ligação e sistemas de gestão e também a crescente preocupação ambiental. No entanto, o aumento da exposição ao ataque

cibernético representa um desafio para o crescimento deste mercado. [13]

O governo chinês aprovou um plano para desenvolver tecnologia de Smart Grid. O utilitário nacional da China, a State Grid Corporation of China (SGCC), anunciou planos de investir US\$ 250 bilhões em melhorias de infraestrutura de energia elétrica ao longo dos próximos cinco anos, dos quais US\$ 45 bilhões serão destinados para as tecnologias de Smart Grid. Outros US\$240 bilhões serão adicionados para completar o projeto entre 2016 e 2020. Finalmente, o objetivo do governo chinês é construir uma rede inteligente nacional forte, capaz de transmitir potência a partir de fontes de energia convencionais e renováveis. Espera-se que a rede inteligente não só melhore a eficiência energética, mas também reduza as emissões de carbono. [14]

Em 2011 a SGCC apresentou propostas para instalação de 44 milhões de unidades de Smart Meter. No total, 65 empresas receberam propostas da SGCC. O mercado total na China é estimado em 330 milhões de unidades de medidores inteligentes, com investimento da ordem de US\$7,7 bilhões. Em 2011, SGCC tinha implantado 45 milhões de unidades de medidores inteligentes. Todos os usuários SGCC deverão ser equipados com medidores inteligentes até 2014. [15] [16]

C. Atrasos na Implementação

Desde 15 de abril de 2010, com a publicação da portaria nº440 do Ministério de Minas e Energia (MME), muito vem se discutindo sobre a implantação das “Smart Grids” e desde então pouco se avançou neste tema. Segundo o presidente da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) Nelson Fonseca Leite, o motivo das “Smart Grid” não ter decolado, ainda, é a falta de políticas públicas. Ao participar do fórum de discussão latino-americano sobre Smart Grids, realizado no final de novembro de 2013, em São Paulo, Nelson manifestou-se: "A regulação do Brasil foi feita para regular poste, fio, etc. Ela não foi feita para regular medidores eletrônicos, que são verdadeiros computadores [...] . Ela ressaltou a necessidade de transparência na regulação das “Smart Grids”, pois é fundamental para que as concessionárias de energia tomem suas decisões de investir ou não neste mercado, que pode demandar altos custos. "Olhando o como um todo, tratando o Brasil como uma única distribuidora, não é possível ter que implantar um plano nacional de redes inteligentes", afirma, explicando que em casos isolados, onde as perdas de energia são muito grandes, esse cenário já se torna mais viável. China, Japão, Estados Unidos da América, Reino Unido e Itália se destacam no desenvolvimento da tecnologia, com investimentos bilionários em execução ou já realizados. [5]

Para o executivo da Abradee, o modelo regulatório atual não estimula as distribuidoras a investir. A entidade defende critérios diferenciados para remuneração e depreciação de equipamentos de TI e Telecom.

III. SMART METER

Há mais de um século o medidor de energia elétrica é o mesmo. O medidor eletromecânico marca a energia recebida e um funcionário da companhia fornecedora mede todos os meses o valor gasto pelo consumidor. A tecnologia “Smart Grid” proporcionará ao consumidor gerenciar seu consumo, produzir energia que pode ser consumida nas atividades do recinto ou armazenada em baterias e o excedente vendido para a concessionária. A tecnologia que proporcionará aos consumidores tais benefícios são os “Smart Meters”. Ele registra o consumo de energia em tempo real, incluindo os valores de tensão, ângulo de fase, frequência e diagnóstico da rede, que de forma segura transmite as informações coletadas para a concessionária. Sua capacidade de se comunicar com outros equipamentos instalados na rede ou mesmo dentro das unidades consumidoras é a sua característica mais importante. Sua capacidade de comunicação bidirecional permite o recolhimento de informações detalhadas sobre a demanda de consumo de cada cliente. Os dados recolhidos são uma combinação de parâmetros, tais como um identificador exclusivo do medidor, data e hora da coleta dos dados e os valores de consumo de eletricidade. O medidor permitirá a adoção da tarifa branca com baixo custo em horários alternativos quando o sistema é menos utilizado. De acordo com Daniel Senna, gestor do projeto Cidades do Futuro: “O consumidor poderá otimizar o uso da energia. Para a Cemig, a implantação de infraestrutura de medição avançada significa um novo patamar de relacionamento com os seus consumidores e um desafio tecnológico que estamos vencendo”. [12]

A ANEEL aprovou em novembro de 2012, a alteração da estrutura tarifária aplicada ao setor de distribuição de energia. A tarifa vermelha entrou em vigor em 01 de Janeiro de 2015 e as demais passarão a valer somente após a troca dos atuais medidores pelos “Smart Meters”. As bandeiras tarifárias ainda não podem ser aplicadas em sua totalidade devido ao fato de o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro não ter ainda concluído a certificação dos medidores. A proposta da tarifa branca é estimular que o consumo em horários em que a tarifa é mais barata, diminuindo o valor da fatura no fim do mês e a necessidade de expansão da rede da distribuidora para atendimento do horário de pico. A tarifa branca será opcional, e caso o consumidor não pretenda modificar seus hábitos de consumo, a tarifa convencional continuará disponível.” [13].

Em agosto de 2012 a ANEEL aprovou o regulamento dos “Smart Meters”. O texto submetido à Audiência Pública prevê o estabelecimento das funcionalidades mínimas do medidor inteligente. A ABINNE propõe dois tipos de medidores que atendem as exigências da ANEEL: [3]

Modelo I (funcionalidades contempladas):

- Classe de precisão: B;
- Medição de energia ativa;
- Medição de energia reativa indutiva;
- Tensão instantânea,
- 4 postos horários, relógio interno,
- Monitoramento de tensões precárias e crítica (Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP) e

de Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC));

- DIF, FIC, DMIC;
- Módulo de comunicação bidirecional e interno ao medidor;
- Protocolo Público;
- Dispositivo para corte/religa.

Modelo II (funcionalidades complementares ao Modelo 01):

- Medição em 4 (quatro) quadrantes;
- Demanda Ativa programável;
- Demanda Reativa programável;
- Perfil de carga;
- Fator de potência (monofásico ou trifásico), média de um período;
- Alarmes de eventos.

E obedecendo ao Regulamento Técnico Metrológico para medidores eletrônicos de energia elétrica, exigido pela ANEEL, o INMETRO o classificou em três categorias [12]:

1. AMR - Automatic Meter Reading: Leitura do consumo automatizada e comunicação uni-direcional.

2. AMI – Automatic Meter Infrastructure: leitura de consumo e envio dos comandos de comunicação bi-direcional.

3. AMM – Automatic Meter Management: Gerência e distribuição de dados e melhoria das eficiências operacionais.

O uso dos “Smart Meters” permitirá a integração de milhares de novos produtores ao sistema (microgeração). As “Smart Grids” terão capacidade de receber energia proveniente dos microgeradores, criando assim uma nova forma de comercialização de energia. O consumidor deixaria de apenas pagar pela energia gasta, mas assumiria papel de vendedor, na medida em que o excedente seria repassado à rede.

IV. INFRAESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

A evolução do sistema elétrico depende da utilização de uma infraestrutura de comunicação. Esta evolução utilizará redes de telecomunicações para realizar suas funções essenciais. Segundo relatório da Pike Reserch, cerca de 15% de todo o investimento na “Smart Grid” será destinado no desenvolvimento desta infraestrutura nos próximos cinco anos. A infraestrutura de comunicação é composta por 4 tipos de redes de telecomunicações, e cada uma destas redes possui uma função dentro da “Smart Grid”. A Figura II demonstra as quatro camadas de telecomunicações:

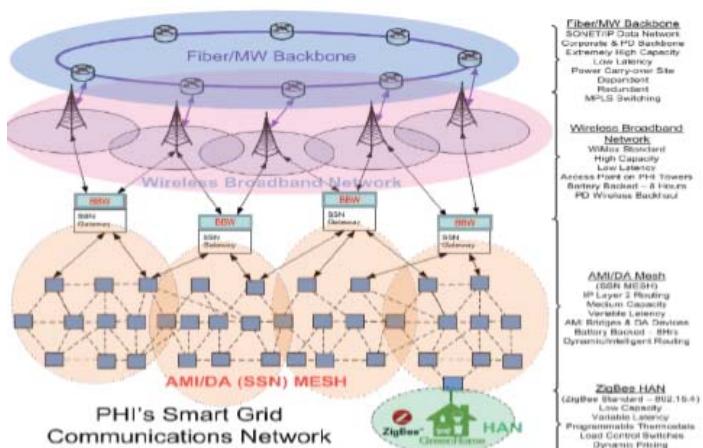


Figura II – Infraestrutura de Comunicação (Fonte [32])

Cada uma das redes descritas abaixo corresponde a um trecho no qual as informações deverão trafegar. Por causa disso existem algumas necessidades como: prioridade, disponibilidade, latência, conectividade, segurança e custo de um sistema próprio.

A. HAN (Home Area Network)

Abrange a unidade consumidora e não deverá apresentar grandes obstáculos na questão da comunicação de dados, pois está sendo utilizado o ZigBee (IEEE 802.15.4), radiofrequência e PLC. Porém tem-se utilizado o ZigBee para a constituição destas rede devido suas características de construção. A Figura III demonstra como será a “Smart Grid” doméstica e como ela pode interagir com outros equipamentos. Todo equipamento conectado a rede poderá se comunicar, transmitir e receber informações do “Smart Meter”.

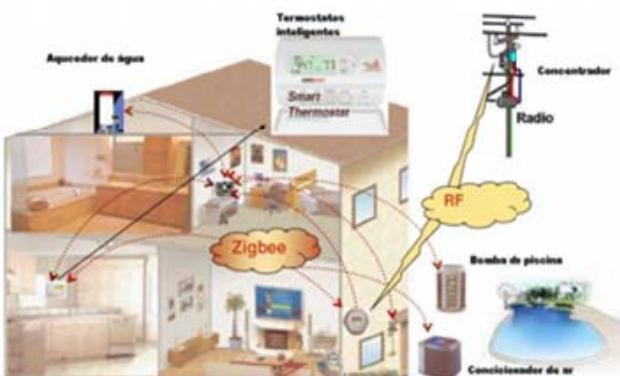


Figura III – “Smart Grid” no interior de uma residência (Fonte [3])

A rede constituída ZigBee é comparável às redes Wi-Fi e Bluetooth e diferencia-se destas por desenvolver menor consumo, por um alcance reduzido (cerca de 100 metros) e a comunicação entre duas unidades poder ser repetida sucessivamente pelas unidades existentes na rede até atingir o destino final e seu principal objetivo é permitir a comunicação entre dois dispositivos em baixa potência de operação e baixa taxa de transmissão de dados. A rede é transparente na qual todos os pontos podem receber dados de forma criptografada,

onde podem ser configurados o nome de usuário, endereço na rede e os endereços que receberão dados e mensagens numa determinada seção.

B. LAN (Local Area Network) e RAN (Regional Area Network)

LAN e RAN cobrem as informações concentradas nos diversos medidores então, enviá-las para pontos de retransmissão como torres, e destas, para subestações ou outros pontos, para depois serem transmitidos para os centros de controle da distribuição. No Projeto Cidades do Futuro está se utilizando as Redes Mesh. Esse tipo de rede não faz uso de uma rede fixa entre os pontos de acesso, sendo assim, define o tráfego entre os nós (medidores) de forma dinâmica. Ela deve ser formada por dois tipos de nós: roteadores mesh e os clientes mesh. A Figura IV apresenta uma das classificações da rede mesh baseada na funcionalidade dos nós.

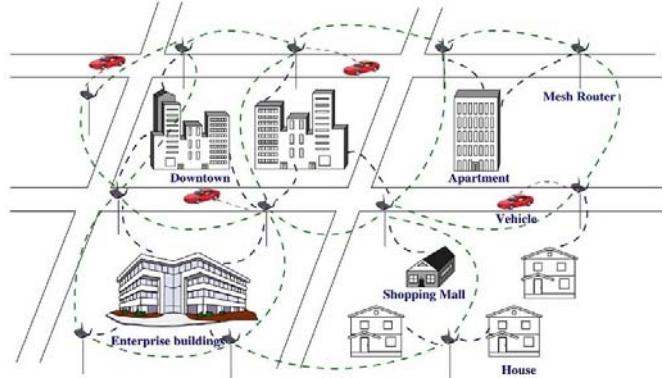


Figura IV - Exemplo de Rede Mesh Metropolitana (Fonte [36])

C. WAN (Wide Area Network)

Para a WAN, o ideal é o uso de fibras óticas, essa é a fase final do transporte de informações. Ela recebe as informações coletadas das redes LAN e RAN, então, as envia para pontos de retransmissão como torres, e destas, para subestações ou outros pontos, para depois serem transmitidos para os centros de controle da distribuição. A comunicação pode ser feita das seguintes formas: GPRS, fibra-ótica, satélite, PLC. A solução a ser adotada depende principalmente de aspectos como custos, disponibilidade de recursos de comunicação, escalabilidade e flexibilidade para atualização. A Figura V demonstra a topologia da rede WAN.

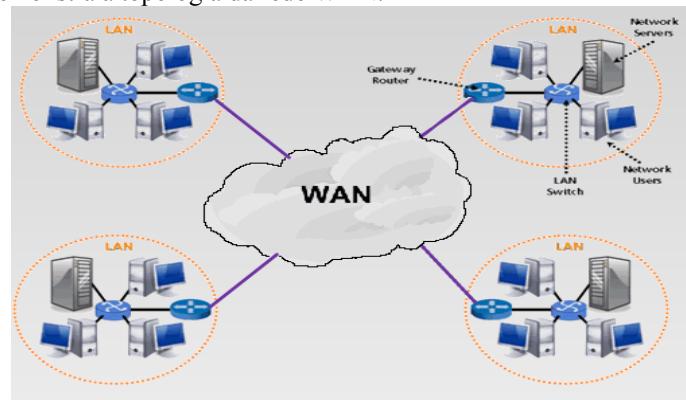


Figura V – Wide Area Network (WAN) Infrastructure (Fonte [37])

V. PROJETO CIDADES DO FUTURO

O Projeto Cidades do Futuro está sendo desenvolvido inicialmente no município de Sete Lagoas (MG) e envolve consumidores de todas as categorias. O município foi escolhido para a implantação do projeto por possuir um grande contingente de consumidores, propiciando à Cemig uma excelente oportunidade de analisar o mercado. A presença do campus da UniverCemig foi outro fator relevante pois em seu campus a uma rede modelo e laboratórios para a realização de testes. Esta rede modelo vem sendo utilizada para capacitar e treinar os colaboradores da empresa.

O projeto se estende desde a implantação de “Smart Meter”, automação das redes, geração distribuída, implantação da infraestrutura de telecomunicações e de sensores, ferramentas de gerenciamento pelo lado da demanda (DSM), relacionamento com consumidores/parceiros e da utilização de veículos elétricos.

O projeto tem como objetivo moldar/adequar a arquitetura “Smart Grid” considerando as necessidades da Cemig por meio de testes de produtos, serviços e soluções inovadoras. Também analisar a viabilidade técnica/econômica para uma futura implantação em toda área de concessão da mesma. Além disso, o projeto irá fornecer subsídios para que outros projetos semelhantes sejam implantados em outras concessionárias do país.

No aspecto da segurança, espera-se que a rede elétrica ofereça maior segurança contra blecautes, por meio da automatização dos elementos e dos sistemas da rede.

Em termos de eficiência energética espera-se uma otimização na distribuição e no consumo de energia, com redução de perdas técnicas e não técnicas (comerciais), a partir do monitoramento e da automação de toda a rede. A ANEEL prevê economia de até 10% no consumo de energia elétrica. Outros motivadores dizem respeito à qualidade da energia elétrica, à geração distribuída e a mudanças climáticas.

A primeira fase de implantação do projeto foi à substituição de 3.800 medidores de energia em 2012 (1.710 unidades de medidores monofásicos, 1.575 unidades de medidores bifásicos e 575 unidades de medidores trifásicos). - Cada medidor é composto de um módulo de comunicação “RF Gridstream”.

A segunda etapa de substituição se iniciou em julho de 2013. A tecnologia que está sendo testada nessa fase é a “Power Line Communications” – PLC que utiliza a rede elétrica para transportar dados dos “Smart Meters” para uma rede LAN/RAN. Através destas redes, as Centrais de Distribuição poderão trocar informações e comandar os medidores, gerenciando de forma individualizada cada consumidor, detectar falta no fornecimento de energia em cada residência, aplicar novas modalidades tarifárias e realizar corte e religamento remoto quando necessário. A rede LAN/RAN recolhe as informações que recebem dos medidores, via PLC, e as repassam ao Centro Integrado de Medição da Cemig. Nesse trajeto final, as tecnologias de telecomunicação que estão sendo testadas são: rede de fibra óptica, satélite, rádio frequência e 3G/GPRS, sendo a última operada por empresas de telefonia celular. A Figura VI mostra a topologia

completa da “Smart Grid” que está sendo implementada em Sete Lagoas.

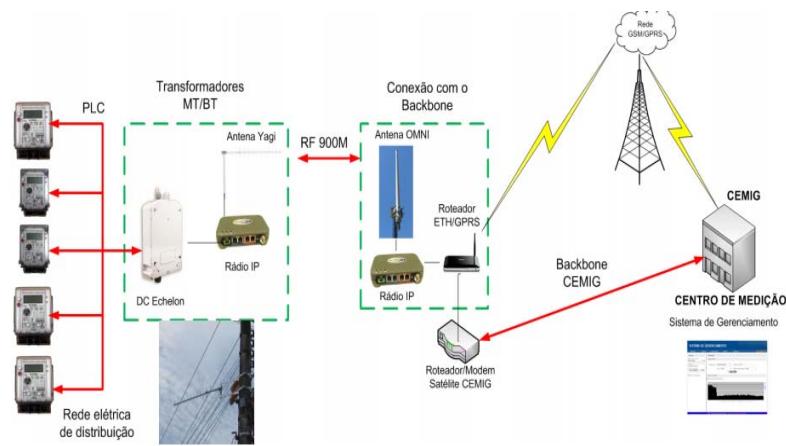


Figura VI – Rede “Smart Grid” utilizada no Projeto Cidades do Futuro (Fonte [38])

Esta segunda etapa do projeto abrange Sete Lagoas e os municípios de Baldim, Funilândia, Jequitibá, Santana de Pirapama, totalizando 1.200 unidades consumidoras. A Tabela I mostra o estágio que se encontra o projeto Cidades do Futuro.

Tabela I
Projeto Cidades do Futuro

Fonte [31]

Acompanhamento Projeto Cidades do Futuro	
Consumidores Atendidos	8.000
Smart Meter	Modelo AMI (4200 unidades instaladas)
Rede Física	2328,49 km
Automação	Alimentadores: 8 (Planejado 9); Subestações: 2 (Sete Lagos 1 e 2); Protocolo adotado DNP3
	FLISR: 30 pontos reconfiguráveis

VI. DESAFIOS TECNOLÓGICOS E ECONÔMICOS

A. Desafios Tecnológicos

Um dos desafios tecnológicos para a implementação da “Smart Grid” é a topologia do sistema elétrico nacional que não permite a realização de testes e isso dificulta a implantação de tecnologias, uma vez que os consumidores seriam afetados acarretando a eles falta de energia. Outro risco é de que a tecnologia pode se tornar obsoleta em pouco tempo. Outro desafio está no alto fluxo de dados produzido por estes sistemas, cada um com exigências diferentes em termos de tempos de resposta e de elevada capacidade de processamento de dados. Para operar de forma organizada, a intenção é que as interfaces de comunicação de dados sigam um protocolo que seja aberto, público, padronizado e que viabilize a utilização de equipamentos e softwares de diversos fornecedores, possibilitando a interoperabilidade do sistema.

Os sistemas corporativos das empresas devem estar adequados para operar de forma integrada e tratar o fluxo de dados de maneira eficiente, ressaltando a importância de manter a privacidade das informações dos consumidores.

O atual sistema necessita de avanços, pois nossas soluções atuais não seguem um padrão específico exigido por algum órgão de normalização técnica. O Projeto SiBMA que tem por objetivo conceber camadas de protocolos e arquitetura que sejam padronizados, abertos e públicos. Existe uma tendência do uso de protocolos abertos citados nas normas IEC 61850 (International Electrotechnical Commission) e ICCP (Intercontrol Center Communications Protocol). [32]

O protocolo IEC 61850 já está sendo bastante utilizado na comunicação de supervisão em subestações e para a comunicação entre concentradores de dados de subestações ao centro de controle o modelo ICCP ganha espaço, mas existe uma iniciativa no IEC que é de adequar o protocolo IEC 61850 para o tráfego de informações até o centro de controle, sendo esta uma proposta mais viável. Outro fator que requer atenção diz respeito à capacidade de produção nacional dos “Smart Meters”. Segundo a ABRADEE, as indústrias brasileiras têm capacidade máxima de produzir 8 milhões ao ano sendo necessário no mínimo 8 anos para a migração total dos medidores.

B. Desafios Econômicos

O maior desafio na implementação das “Smart Grids” é o custo dos “Smart Meters”. A Audiência Pública Nº 43/2010 definiu as especificações dos “Smart Meters”. Segundo a ABINEE existem dois tipos: O primeiro admite como funcionalidades presentes o estabelecido no documento “Resolução Medição AP 43/2010”. O segundo modelo é o que se imagina que pode ser o desdobramento da demanda de funcionalidades para o medidor inteligente, levando-se em consideração o documento “NT 44/2010”. A estimativa do custo dos “Smart Meters” com as funcionalidades requeridas pela ANEEL são apresentados na Tabela II abaixo:

Tabela II
Custo dos medidores inteligentes

Fonte [32]

Modelo I		Modelo II	
Monofásico	Trifásico	Monofásico	Trifásico
R\$ 310,00	R\$ 530,00	R\$ 370,00	R\$ 620,00

A viabilidade da substituição dos mesmos depende de que o valor dos benefícios seja igual ao dos custos. E os benefícios são: redução da demanda de pico já que os “Smart Meters” serão dotados de um sistema capaz de identificar as quatro bandeiras tarifárias regulamentadas; erradicação do furto de energia que causa grande prejuízo às concessionárias e consumidores, já que os custos deste tipo de prática tem impacto direto na fatura de energia.

Para a viabilidade econômica da “Smart Grid”, distribuidoras de energia elétrica devem substituir todos os medidores convencionais, porém de forma gradual, adequando

se a cada região e infraestrutura do estado, caso contrário, o sistema elétrico nacional estaria fadado à estagnação tecnológica, já que, dificilmente, uma uniformização seria igualmente benéfica para as 63 concessionárias do país.

O custo de implantação das “Smart Grids” não se resume a despesa de instalação do “Smart Meter”. As distribuidoras vêm instalando sistemas de medição e sensoriamento de alimentadores e subestações. Em 2010, a Cemig fez a previsão de que os sistemas de medição custariam R\$ 69,8 milhões, enquanto que a “Automação de Subestações e Redes” equivaleria a R\$ 34,3 milhões. Assim, segundo essas estimativas, a implantação e adequação da automação representariam 49,2% do valor a ser gasto com instalação de medição. Ainda seguindo a Cemig os custos com a inteligência de toda rede seria de R\$ 6,25 bilhões. [32]

Outra barreira para a implementação da “Smart Grid” será o possível aumento da tarifa para cobrir os custos do projeto, pois o alto valor das tarifas elétricas no Brasil impede a aplicação de taxas adicionais dificultando assim a recuperação dos investimentos e o não engajamento do consumidor, uma vez que eles podem não entender os reais benefícios do projeto e a falta de informação suficiente para a compreensão do que está sendo oferecido.

Outro fator que impacta na viabilidade econômica da “Smart Grid” e que se faz necessário trabalho conjunto do governo, agências reguladoras e legisladoras, concessionárias é como será adquirido os recursos necessários para os bens que serão substituídos no desenvolvimento da “Smart Grid”.

VII. CONCLUSÕES

O sistema elétrico, como conhecemos, está prestes a sofrer um transformação sem precedentes, trazendo grandes benefícios às concessionárias, consumidores e ao meio ambiente.

Neste artigo é apresentada uma visão geral da “Smart Grid” e do “Smart Meter”, desafios técnicos e econômicos da implementação deste conceito no sistema elétrico brasileiro. Observou-se também que a viabilidade da “Smart Grid” está atrelada ao custo da substituição dos medidores atuais pelos “Smart Meters” e no custo de implementação da toda infraestrutura de comunicação necessária. Apesar dessa transição parecer inevitável, pois países como China e Estados Unidos têm investido fortemente neste conceito, é um processo lento e complexo. Existem, ainda, muitas questões a serem estudadas em torno desse conceito que irá exigir um trabalho conjunto de governo, ANEEL e das concessionárias de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] E. Cruz (2014, Nov.). Redes Inteligentes Brasil [Online]. Disponível: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/>
- [2] M. de C Marques (2014, Nov.). Estimativas e Análise de investimentos em Tecnologias de Informação e Comunicação – TIC para implantação do Smart Grid no Brasil. C&I - Controle & Instrumentação. São Paulo: Valete, São Paulo, n. 119, p. 42-44, ago. 2014.
- [3] M. P. Zimmermann (2014, Dez.). Relatório Smart Grid. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia.

- [4] Entrevista – desafios da migração Tecnológica Smart Grid [Online]. Disponível: <http://smartgridnews.com.br/blog/2011/09/09/entrevista-desafios-da-migracao-tecnologica-smart-grid-claudio-lima/>, 2013.
- [5] D. M. Falcão (2014, Dez.). Smart Grids e Micredes: o futuro já é presente [Online]. Disponível: <http://www.researchgate.net>.
- [6] Relatório de Acompanhamento Setorial. (2014, Dez.) [Online]. Disponível: http://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/Relatorios_NEIT/Smart-Grid-Marco-de-2012.pdf.
- [7] What The Smart Grid Means To Americans [Online]. Disponível: <http://energy.gov/oe/downloads/what-smart-grid-means-americans>.
- [8] Obama anuncia pacote de US\$3,4 bilhões para smart grids (2014, Dez.) [Online]. Disponível: http://www.jornaldaenergia.com.br/ler_noticia.php?id_noticia=1840&id_tipo=2&id_secao=12&id_pai=0&titulo_info=Obama%20anuncia%20pacote%20de%20US%243%2C4%20bilh%F5es%20para%20smart%20grids..
- [9] C. W Gellings (2015, Jan.). The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response, 1 ed. The Fairmont Press, 2009
- [10] Boulder's Smart Grid Leaves Citizens in the Dark (2014, Dez.) [Online]. Disponível: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Boulders-Smart-Grid-Leaves-Citizens-in-the-Dark..>
- [11] Smart Grid City (2015, Jan.)[Online]. Disponível: <http://smartgridcity.xcelenergy.com/>.
- [12] China's Energy Consumption Rises (2015,Jan.) [Online]. Disponível: <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052748704615504576171922168262078?mg=reno64-wsj&url=http%3A%2F%2Fonline.wsj.com%2Farticle%2FSB10001424052748704615504576171922168262078.html>.
- [13] Smart Grid Market in China 2012-2016: Worldwide Industry Share, Investment Trends, Growth, Size, Strategy And Forecast Research Report 2016 (on-line). Disponível na internet. URL: <http://www.prweb.com/releases/2013/11/prweb11293897.htm>. Janeiro 2014.
- [14] China Pours Money into Smart Grid Technology (on-line). Disponível na internet. URL: <http://www.americanprogress.org/issues/green/report/2011/10/24/10473/china-pours-money-into-smart-grid-technology/>. Janeiro 2013.
- [15] China's smart meter market potential – 330m meters, \$7.7bn (on-line). Disponível na internet. URL: <http://www.greentelecomlive.com/2011/07/11/chinas-smart-meter-market-potential-330m-meters-7-7bn/>. Janeiro de 2014.
- [16] State Grid's meter market valued at \$7.7b (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.chinadaily.com.cn/cndy/2011-07/08/content_12859519.htm. Janeiro de 2013.
- [17] MANDELMAN, Marcio. Análise Crítica da Matriz Energética Brasileira e a Implementação de “Smart Grid”. Tese de Mestrado. UNITAU. Taubaté. 2011.
- [18] Resolução N.º 456, de 29 de novembro de 2000(on-line). Disponível na internet. URL: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000456.pdf>, 2013.
- [19] FALCÃO, Djalma. M. Integração de Tecnologias para Viabilização da Smart Grid In: III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Belém. Maio/2010.
- [20] SOUZA, Gustavo B. de C., JUNIOR Getúlio A. de D. Tecnologias de Comunicação e Aplicações em Smart Grid (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibc/trabalhos/GUSTAVO_.PDF, 2013.
- [21] Relatório de Acompanhamento Setorial - Smart Grid. (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/Relatorios_NEIT/Smart-Grid-Marco-de-2012.pdf, 2013.
- [22] DEPURU, Soma S. S. R. el al. Smart Meters for Power Grid – Challenges, Issues, Advantages and Status. Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Toledo, 2801 W. Bancroft St. Toledo, OH 43606, USA.
- [23] CEMIG Testa novos medidores Inteligentes em Sete Lagoas – MG (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/cemig_testa_novos_medidores_inteligentes.aspx, 2013.
- [24] Tarifa branca ao consumidor da baixa tensão valerá com novo medidor (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4921&id_area=90, 2013.
- [25] Diretrizes Governamentais para o Smart Grid no Brasil. In: ABINEE TEC 2011. São Paulo, Março/2011.
- [26] Programa Piloto em Redes Inteligentes de Energia. In: Seminário energia Mais Limpa - Conhecimento, Sustentabilidade e Integração. Florianópolis, Abril/ 2012.
- [27] Medidor inteligente (on-line). Disponível na internet. URL: <http://www.toshiba-tds.com/tandd/technologies/smartgrid/pt/sm.htm>, 2013.
- [28] MACHADO, Roberta. Energia do futuro (on-line). Disponível na internet. URL: http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/eu-estudante/me_gerais/2012/12/31/me_gerais_interna,341792/energia-do-futuro.shtml, 2013.
- [29] SETTI, Renan. ‘Smart grid’ vai turbinar a rede elétrica do país (on-line). Disponível na internet. URL: <http://oglobo.globo.com/tecnologia/smart-grid-vai-turbinar-rede-eletrica-do-pais-4952797>, 2013.
- [30] TOLEDO, Fabio. Desvendando as redes elétricas inteligentes 1 ed. Rio de Janeiro: Brasporth, 2012.
- [31] LEITE, D. Rabelo Viana (Nov, 2013). Medidores Eletrônicos: Análise De Viabilidade Econômica No Contexto Das Redes Inteligentes. Dissertação de Mestrado. UnB. Brasília. 2013.
- [32] Eliel Cruz. Cidade do Futuro [Online]. Disponível: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/cidade-do-futuro.html>
- [33] Redes Elétricas Inteligentes. Disponível na internet. URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.cgee.org.br%2Fatividades%2Fredirect%2F8050&ei=4k7uU8LPiKLLsATX34GQBg&usg=AFQjCNGaTtrejtKaGhOQZYIlkS8SSLT5Sw&bvm=bv.73231344,d.cWc&cad=rja>
- [34] Redes IEC 61850 – Estudo de Protocolo e Exemplo de Aplicação. Disponível na internet. URL: <http://www.automacaoindustrial.info/redes-iec-61850-estudo-de-protocolo-e-exemplo-de-aplicacao/>, 2014.
- [35] Norma IEC 61840. Disponível na internet. URL: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAemyAAF/norma-iec-61850>, 2014.
- [36] Redes sem fio em malha. Disponível em http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/malha/aplicacoes.html
- [37] Network Infrastructure. Disponível em <http://www.netprivateer.com/lanwan.html>
- [38] BATISTA, Tadeu. Projeto Cidades do Futuro: Convênio D423 – Cemig D. In: Fórum Mineiro de Energia Renovável. Belo Horizonte, MG. Jun/2014.

Redes de Telecomunicações Aplicadas a *Smart Grid*

Renata de Oliveira

Nayara Stella Pereira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
renataoliveira@get.inatel.brInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
nayarap@get.inatel.br

Felipe Terra Muniz

Pedro Sergio Monti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
felipemuniz@get.inatel.brInstituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
pedro@inatel.br

Resumo—O setor elétrico como conhecemos está diante de uma evolução tecnológica jamais vista, capaz de proporcionar grandes benefícios às concessionárias de energia elétrica, consumidores e meio ambiente. Apesar da evolução do sistema elétrico atual para a *Smart Grid* parecer inevitável, existem alguns obstáculos a serem superados. As redes de telecomunicações e tecnologias utilizadas são alguns deles.

Este artigo discute algumas tecnologias e configurações de redes que estão sendo implementadas em projetos pilotos no Brasil e os desafios e oportunidades de pesquisas nas áreas de *Smart Grid* e medição inteligente. Em particular, vamos nos concentrar na análise da viabilidade econômica e técnica destas tecnologias. Por fim, também se discute os esforços de normalização coordenados na pela ANEEL para harmonizar normas e protocolos de comunicação.

Palavras-chave—Infraestrutura de Comunicação, Redes de Telecomunicações, *Smart Grid*, *Smart Meter*.

I. INTRODUÇÃO

O conceito *Smart Grid* está preste a revolucionar todo o sistema elétrico atual, tornando-o uma moderna rede automatizada e inteligente. Esta revolução necessariamente utiliza redes de telecomunicações para realizar suas funções essenciais. A infraestrutura de comunicação é composta por quatro tipos de redes de telecomunicações: *Wide Area Network* (WAN), *Metropolitan Area Network* (MAN), *Local Area Networks* (LAN) e *Home Area Network* (HAN) e cada uma delas possui uma função específica dentro deste conceito.

Os grandes desafios na implementação dessas redes são: largura de banda dos canais de comunicação; latência dos dados; *jitter* (variação estatística do atraso na entrega de dados em uma rede); arquiteturas gerenciadas; requisitos de segurança tais como: disponibilidade, interoperabilidade e privacidade. Esses requisitos se traduzem em redes de alta disponibilidade, alta confiabilidade e de característica de

multiplicação para suportar as diversas aplicações mencionadas. Outro desafio é a topologia do sistema elétrico, que não permite a realização de testes e isso dificulta a implantação de tecnologias.

Recentemente, tem havido avanços significativos no desenvolvimento da infraestrutura de comunicação. Existem cerca de 62 projetos pilotos em todo o país, alguns têm usado os conceitos de Internet das Coisas – IOT para a maior eficiência operacional desta infraestrutura de comunicação. As concessionárias de energia Light, Cemig e AES Eletropaulo propõem o uso de uma rede multisserviço que utiliza *RF Mesh* para transmissão de dados entre as redes de pequeno porte e *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (*WiMax*) e fibra óptica para comunicação entre a rede WAN e a demais redes. [1] [2]

Este artigo apresenta o estudo destas redes e tecnologias necessárias para a implementação e seus desafios, através de diferentes cenários e topologias existentes na prática.

II. REDES DE TELECOMUNICAÇÕES E A *SMART GRID*

O conceito *Smart Grid* vem sendo desenvolvido para atender, de uma maneira sofisticada, as necessidades de energia do século 21, com abordagem em tempo real, integrando tecnologias avançadas de gerenciamento, monitoramento, automação e telecomunicações, a fim de modernizar o sistema elétrico que conhecemos.

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abrae), o investimento na implantação da infraestrutura de comunicação representa 13,6 % (cenário acelerado de desenvolvimento) de todos os investimentos no desenvolvimento da *Smart Grid*. [3] Para o *Electric Power Research Institute* (EPRI) a *Smart Grid* é uma rede que incorpora tecnologia de informação e comunicação na geração, distribuição e consumo de energia, a fim de minimizar o impacto ambiental, aumentar confiabilidade e

eficiência do serviço e reduzir os custos. [4]

Este conceito é composto por quatro redes de telecomunicações – HAN, LAN, MAN e WAN, cada uma sendo composta por tecnologias e protocolos de transmissão distintos. A Figura 1 ilustra o modelo de rede proposto neste projeto de pesquisa.

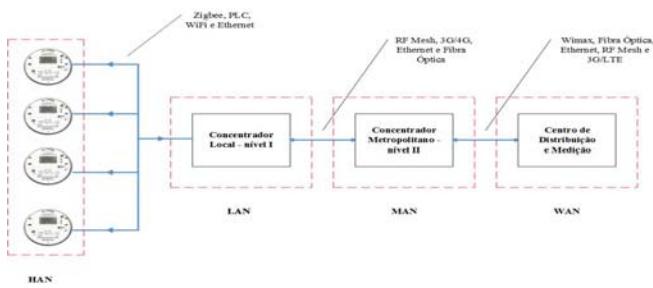


Fig. 1. Redes HAN, LAN, MAN E WAN, tecnologias implementadas e elementos de rede (Fonte: Elaborada pelo autor).

A solução a ser adotada depende principalmente de aspectos como: custos, disponibilidade de recursos de comunicação, escalabilidade e flexibilidade para atualização. O modo de transmissão utilizado é o full-duplex e a comunicação será feita ponto-a-ponto entre HAN e LAN e ponto-multiponto entre LAN, MAN e WAN. É necessário definir de forma concisa os meios de transmissão, o controle de fluxo e criptografia necessária para a viabilização deste conceito.

A. Home Area Network (HAN)

Abrange a unidade consumidora e não deverá apresentar grandes obstáculos na questão da comunicação de dados. A rede HAN tornará o conceito de casa inteligente possível, visto que o objetivo desta rede é viabilizar a troca de informações entre os dispositivos eletrônicos da residência. Essa tecnologia permitirá uma rede inteligente para gestão eficiente da energia enquanto aumenta o conforto, conveniência e segurança. A Figura 2 demonstra como será uma *Smart Grid* doméstica e como ela poderá interagir com outros equipamentos internos (concentrador local) e externos.

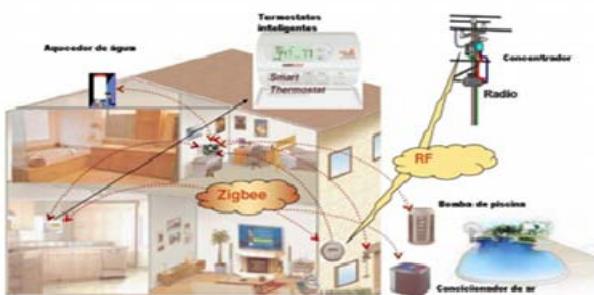


Fig. 2. *Smart Grid* no interior de uma residência (Fonte [5])

Ao utilizar o sistema de monitoramento e controle inteligente, o consumidor será informado sobre seus padrões

de consumo e demanda de energia em tempo real. O controle de demanda pode ser feito para responder dinamicamente ao fornecimento de energia disponível – modicidade tarifária. Em uma implantação típica HAN, o *Smart Meter* opera como Portal dos Serviços Energéticos (ESP), que conecta a rede HAN a rede LAN da distribuidora de energia. [6] [7]

B. Local Area Network (LAN)

A rede LAN cobre as informações concentradas em diversos medidores e a troca de informações entre os sensores de monitoramento a uma distância limitada (de 100 m a 5 km). As informações coletadas são enviadas aos concentradores locais – nível I e, destes, para os concentradores metropolitanos – nível II, para depois serem transmitidos para o Centro de Controle de Medição (CDM). Esta rede permite que o CDM troque informações com os medidores e redes LAN's, gerenciando de forma individualizada cada consumidor e redes LAN's existente no sistema. [8]

C. Metropolitan Area Network (MAN)

A rede MAN é uma rede de dimensões médias (de 5Km a 50Km). Esta rede se conecta as diversas LAN's existentes em uma cidade através de concentradores de metropolitanos - nível II. A Figura 3 demonstra estas conexões.

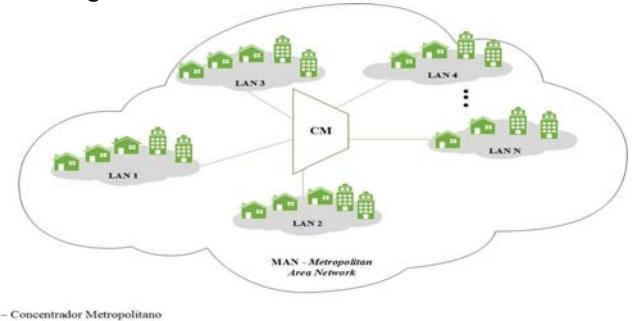


Fig. 3. *Metropolitan Area Network* (Fonte: Elaborada pelo autor)

Nos projetos pilotos espalhados pelo Brasil tem-se adotado meios de transmissão tais como: cabeamento - Ethernet- IPv6, IPv4, Coaxial, ar e em cidades que possuem cabeamento óptico a transmissão de dados vem sendo feita através deste.

D. Wide Area Network (WAN)

Esta é uma rede de grande porte, responsável por abranger a área de cobertura da concessionária. A rede recebe as informações coletadas pelas demais e em seguida transmite para o CDM permitindo que a concessionária de energia efetue o gerenciamento remoto e instantâneo de toda a rede e de cada unidade consumidora, possibilitando corte/religamento, coleta de dados de consumo, aplicação da modicidade tarifária, detecção de fraude e falhas.

III. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NOS PROJETOS PILOTOS DE SMART GRID NO BRASIL

A diretriz adotada neste projeto de pesquisa decorre dos principais projetos pilotos em desenvolvimento no Brasil. A

coexistência de diferentes tecnologias se dá pelo fato de questões geográficas e econômicas existentes no Brasil. Essa seção descreve estas tecnologias.

A. Power Line Communication (PLC)

É uma tecnologia que permite a transmissão de dois sinais (elétrico e de telecomunicações) de forma harmônica no mesmo meio. A transmissão de dados por meio da rede elétrica utiliza sinais de rádio (RF) enviados pelas redes de corrente alternada de baixa e média tensão. Esse envio é feito através da modulação dos dados, em formato digital, com o sinal de rádio, transmitido, então, para as linhas elétricas em frequências próprias. Existem dois tipos de PLC que são distintos quanto à frequência de operação: [9] [10]

- PLC Faixa Larga (*BroadBand - BPL*): esse tipo utiliza uma faixa de frequências que gira em torno de 1.6 a 30MHz e possui alta taxa de transmissão. Este é o tipo de PLC que mais vem recebendo atenção em virtude de sua utilização para o acesso a internet.
- PLC Faixa Estreita (*NarrowBand*): esse tipo utiliza uma faixa de frequência de 0.1 a 0.9 kHz, possuindo taxa de transmissão menor que 1Mbps e está sendo aplicada nas áreas de gestão de energia elétrica, automação, medição remota, etc.

Os princípios básicos de funcionamento da tecnologia PLC são as técnicas de modulação e multiplexação, onde a primeira é a técnica que consiste na transformação de um sinal em uma forma de onda adequada para a transmissão através de um determinado meio físico - o canal. No processo de modulação, um dos parâmetros da onda portadora é modificado de acordo com a mensagem a ser enviada e o receptor recupera a mensagem a partir deste sinal modificado. Já a segunda técnica consiste na combinação de vários sinais para transmissão em um mesmo meio físico. [6] O processo de transmissão e recepção dos dados ocorre devido a um modem conectado a rede elétrica doméstica. A Figura 4 mostra o funcionamento da tecnologia PLC:

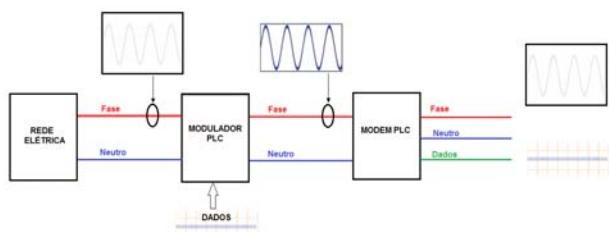


Fig. 4. Funcionamento da tecnologia PLC. (Fonte [11])

Utiliza-se a rede elétrica para transmitir dados e voz, onde o sinal é conduzido através dos fios de cobre (ou alumínio) das redes de distribuição de baixa e média tensão. Empregando este tipo de cabeamento é possível que cada tomada de uma casa se torne um ponto de acesso à internet, sem necessitar de conversores ou instalações exclusivas, utilizando apenas um decodificador similar aos modems empregados em conexões de banda larga ou por meio de linha telefônica e TV a cabo, que separa a corrente elétrica dos sinais de voz, dados e Internet. [12]

O PLC é considerado uma das principais tecnologias de transmissão de dados a ser utilizada na *Smart Grid*. Apresenta significativa vantagem se comparada a outras tecnologias, pois a capacidade de utilizar a infraestrutura elétrica existente, como meio de comunicação, evita custos associados à construção de novas redes. Há também a possibilidade de transformar toda a infraestrutura elétrica de uma residência ou edifício em uma rede local de dados, permitindo uma topologia ponto multi-ponto. [13] [14] Entretanto, existem alguns problemas em se transmitir dados pela rede elétrica, levando em consideração que essa não foi projetada para essa finalidade. Devido ao descasamento de impedâncias que ocorre entre pontos da rede e também entre equipamentos é gerada uma reflexão do sinal transmitido, que causa uma maior atenuação do sinal original. [16] Outros problemas a serem considerados são: atraso de propagação, falta de segurança e a interferência de outros sistemas que utilizam o mesmo espectro que o PLC ou, até mesmo, causada por outros equipamentos que utilizem a mesma tecnologia. [6] [14]

A Energias de Portugal (EDP) e a Ecil energia descartaram o uso do PLC no projeto InovCity em Aparecida/SP por considerá-lo uma tecnologia relativamente nova e apresentar algumas limitações como a baixa relação taxa de transmissão x distância e irradiação eletromagnética gerada na rede, que pode provocar interferência na comunicação. No entanto a Cemig aposta fortemente no PLC e vem implementando-o em seu projeto piloto na cidade de Sete Lagoas. [1] [4]

B. ZigBee - IEEE 802.15.4

Este protocolo encontra-se sobre o nível 2 do modelo OSI. Essa camada é chamada de link de dados. Nela os bits são geridos e organizados para tornarem-se impulsos eletromagnéticos, no nível mais baixo e é semelhante aos modelos IEEE 802.11 (Wi-Fi) e IEEE 802.3 (Ethernet). Seu principal objetivo é permitir a comunicação entre dois dispositivos em baixa potência e de baixa taxa de transmissão.

O ZigBee pode ser considerado como uma rede de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks - WSN*) por possuir os seguintes tipos de nós:

1. Coordenador: do dispositivo *master*, que rege toda a rede;
2. Roteadores: que definem a rota da informação;
3. Dispositivo Fim - os motes: nós sensores levam as informações do ambiente.

Essa tecnologia é comparável às redes WiFi e Bluetooth e diferencia-se destas pelo consumo, por um alcance reduzido (cerca de 100 metros) e porque a comunicação entre duas unidades pode ser repetida sucessivamente pelas unidades existentes na rede até atingir o destino final. Em sua topologia, cada nó é formado por dispositivos sensores que apresentam memória e processador, sendo o processador responsável pelo funcionamento, aplicações e retransmissão das mensagens. Os nós se comunicam via rádio frequência - um nó envia uma mensagem e todos os nós que estiverem dentro do raio de alcance podem recebê-la. Os nós podem receber dados de forma criptografada podendo ser configurados o nome de

usuário, endereço da rede e os endereços que receberão dados e mensagens numa determinada seção. [8] [16]

Para garantir a interoperabilidade da rede usando o *ZigBee* foi desenvolvido o protocolo IEEE 802.15.4g - *Standard for Smart Metering Utility Networks*. Esse protocolo é um padrão global que harmoniza a camada física de uma série de sistemas sem fio e este padroniza os níveis de energia, taxas de dados, modulações e bandas de frequência para ambientes externos de grande escala e topograficamente desafiadores. O *ZigBee* está sendo amplamente utilizado para conectar o *Smart Meter* ao concentrador local (IEEE 802.15.4) e as rede locais às metropolitanas (IEEE 802.15.4g).

O projeto piloto Inovcity tem o utilizado devido ao fato do *ZigBee* suportar a funcionalidade *MESH*, onde cada medidor poderá operar como roteador de pacotes de demais medidores da rede. [17]

C. RF Mesh

Essa tecnologia não faz uso de uma rede fixa entre os pontos de acesso, sendo assim, define o tráfego entre os nós de forma dinâmica. A Rede *Mesh* se assemelha às redes *Ad-Hoc*, pois ambas utilizam transmissão sem fio para envio/troca de dados, possuindo, assim, diversos pontos de acesso. Sua topologia é dinâmica variável e de crescimento orgânico. A rede *Mesh* é composta por diversos concentradores/roteadores que formam uma única e grande rede. Possui algumas características relevantes quando aplicadas a *Smart Grid* tais como a capacidade de autoformarão, automanutenção e auto-organização. Apresenta também como características a dependência da mobilidade dos seus nós, pois os roteadores apresentam mínima ou nenhuma mobilidade, por formarem o *backbone* central da rede, apesar dos clientes possuírem, também, a capacidade de roteamento. [18]

As Redes *Mesh* podem se classificadas em três tipos, mas quando aplicada a *Smart Grid* está se utilizando o *Wireless Mesh Network* (WMNs) - Infraestrutura/ *Backbone*: Este tipo inclui os roteadores que dão forma à infraestrutura para clientes (concentradores). Eles garantem à rede função de gateway, podendo ser conectados a Internet, o que proporciona a integração com outras redes. Esta rede é utilizada para criar o *backbone* entre LAN, MAN e WAN. A Figura V ilustra esse tipo de arquitetura:

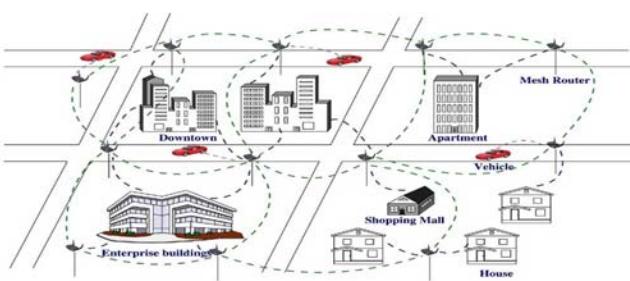


Fig. 5. - Rede Mesh Metropolitana (Fonte [19])

As vantagens atribuídas às redes *mesh* são:

1. Permite adição ou remoção de concentradores;
2. Robustez;

3. Baixo custo e de fácil implementação;
4. Seleção automática de rotas e detecção falhas.

Este sistema é capaz de suportar toda a gama de aplicações da *Smart Grid*. Porém, apresenta algumas desvantagens que podem fazer com que ela seja descartada quando aplicada. Dentre as quais podemos citar: interferência na comunicação, baixa segurança e ausência de qualidade de serviço (QoS). Entretanto, mesmo apresentando estas desvantagens o *RF Mesh* vem sendo utilizado por diversas concessionárias, tais como: Cemig, Cepel e AES Eletropaulo e os resultados obtidos na fase de testes têm se mostrado satisfatórios. [8] [19]

D. Giga Passive Optical Networks - GPON

Esta tecnologia é derivada das redes ópticas passivas (*Passive Optical Networks* - PON). O GPON surgiu da necessidade de reduzir custos de operação e manutenção, quando comparadas às outras arquiteturas PON, suprir a necessidade das operadoras de telecomunicações por maiores taxas de transmissão, maior eficiência de banda e maior variedade de serviços. A Tabela I descreve as diferenças entre os tipos de PON's existentes:

TABELA I
TIPOS DE PON E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Fonte [20]

Características	EPON	BPON	GPON
Recomendação	IEEE 802.3ah	ITU-T G.983	ITU-T G.984
Protocolo	Ethernet	ATM	Ethernet, TDM
Taxa de Bits	1000Mbps, DS e US	622Mbps DS, 155Mbps US	2488Mbps DS, 1244Mbps US
Span (Km)	10	20	20
Taxa de divisão (Split-ratio)	16 ou 32	32	32 ou 64

A rede GPON possui três componentes fundamentais: [21]

1. *Optical Line Terminal* (OLT): é responsável pela gerência do sistema e pelo provimento de uma interface ao restante da rede, podendo ser localizada na central ou remotamente.
2. *Optical Network Unit* (ONT): é responsável pelo recebimento do sinal óptico e conversão em sinal elétrico.
3. *Optical Distribution Network* (ODN): é a parte da rede óptica entre a OLT e a ONT, composta por fibra óptica e elementos passivos ópticos.

Estes componentes são divididos entre ativos (OLT e ONT) e passivos (conectores, pontos de terminação ópticos, etc.). Sua arquitetura é ponto-multiponto e usa um ou mais níveis de acopladores ópticos passivos para distribuir o sinal aos clientes. O GPON permite o compartilhamento de uma mesma

fibra por múltiplos usuários o que reduz o número de dutos da rede de acesso e o gerenciamento das fibras ópticas, permitindo uma redução nos investimentos em rede (CAPEX) e nas despesas operacionais (OPEX). [8] [22]

As vantagens de se utilizar a tecnologia GPON são inúmeras, especialmente o baixo custo de implementação, pois esta é compatível com o *Time Division Multiplex* (TDM), o qual se encontra disseminado em todo o país pelas operadoras de telefonia (legado de redes *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH)), baixo custo de manutenção. Contudo, a maior limitação está nas interfaces ópticas e na topologia da rede. [23]

A única concessionária de energia que vem utilizando o GPON em seu projeto piloto é a Copel, que o está utilizando como “chave de rede” e para interligar os concentradores de medição. [2]

E. WiFi - IEEE 802.11

A norma WiFi - IEEE 802.11 é um conjunto de especificações para redes locais sem fio (*Wireless Local Area Network* (WLAN)). Possui diversas subcategorias que cobrem a definição do suporte de rede, aspectos de segurança e qualidade de serviço, das quais as mais conhecidas e utilizadas são:

1. IEEE 802.11a: Sua principal característica é a possibilidade de operar em taxas de transmissão de dados nas seguintes velocidades: 6 Mbps, 9 Mbps, 12 Mbps, 18 Mbps, 24 Mbps, 36 Mbps, 48 Mbps e 54 Mbps. Possui um alcance de até 50m e utiliza *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) o que possibilita diminuir interferência através da divisão do sinal de rádio, antes de chegar ao receptor. [24]
2. IEEE 802.11b: É o mais barato e opera na faixa de 2,4 GHz. Mais lento que o IEEE 802.11a, transmite nas seguintes taxas: 1 Mbps, 2 Mbps 5,5 Mbps e 11 Mbps. Possui alcance de até 400 m Outdoor e 50 m Indoor. [24]
3. IEEE 802.11g: Foi desenvolvido para atingir velocidades mais altas do que o IEEE 802.11b, porém na mesma frequência, e reduzir os custos de fabricação. Opera com taxa máxima de transmissão de 54 Mbit/s. [24]
4. IEEE 802.11n: É um dos padrões mais novos. Opera com taxa de transmissão de 65 Mbps a 300 Mbps. Utiliza o *Multiple Input, Multiple Output-Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (MIMO-OFDM) como método de transmissão e opera na faixa de frequência de 2,4 GHz e 5 GHz com alcance maior que seus antecessores. [24]

Em redes *Smart Grid*, a tecnologia WiFi seria uma boa alternativa, uma vez que não é requerida largura de banda elevada. Os pacotes de dados na rede elétrica inteligente estarão mesclados com outros pacotes de dados na fila para envio ou descarte. Uma vez que os pacotes relativos à rede inteligente não podem ser descartados, sua transmissão deve ser feita de modo rápido e seguro. Assim quando o roteador

receber todos os pacotes, aqueles de maior prioridade como os da *Smart Grid* terão preferência ficando no topo da fila, independentemente do algoritmo implementado, garantindo a confiabilidade à rede. [25]

As concessionárias Light, Coelce e Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) têm utilizado o WiFi em seus projetos. Este vem sendo utilizado para abranger áreas de difícil acesso e em soluções para *Smart Home* – Han. [2]

F. Wimax - IEEE 802.16

O WiMax foi projetado para padronizar implementações *Local Multipoint Distribution System* (LMDS). Inicialmente foi desenvolvido para atender as exigências tecnológicas do *Broadband Wireless Access* (BWA) com uso específico em redes locais e metropolitanas. Possui independência em relação ao protocolo, podendo transportar diversos tipos, tais como: IP, Ethernet, e ATM.

O WiMax possui as seguintes subcategorias, que devem ser avaliadas quando empregadas a *Smart Grid*, tendo em vista suas particularidades: [26]

1. IEEE 802.16a: Opera entre as frequências de 2 a 11 Ghz, proporciona taxa de transmissão de 75 Mbps e possui um raio de alcance entre 5 e 10km;
2. IEEE 802.16b: Funciona na faixa de frequência de 10 a 66 Ghz, possuindo taxa de transmissão entre 32 e 134Mbps com um alcance de 50km;
3. IEEE 802.16-REVd: É semelhante ao IEEE 802.16a e possui uma abrangência entre 19 e 50km dependendo do tamanho da antena, do seu ganho e da potência de transmissão;
4. IEEE 802.16e: Opera na faixa de frequência entre 2 e 6Ghz, com taxa de transmissão de 15Mbps e alcance máximo de 5km.

Segundo o Professor Eduardo Fagundes - Universidade Presbiteriana Mackenzie, o uso do WiMax é recomendado para áreas rurais e de baixa densidade demográfica utilizando conexões ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Ele pode ser combinado com o WiFi que é uma solução de baixo custo para conectar os concentradores metropolitanos a rede WAN através do WiMax até o CDM. [27]

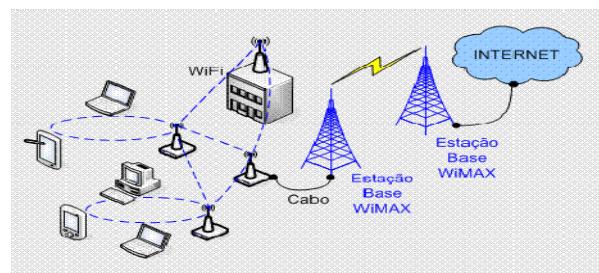


Fig. 6. Utilização do WiMAX integrado ao WiFi (Fonte[27])

Esta tecnologia possui a vantagem de incorporar, facilmente, centrais remotas em sua rede e a locação de largura de banda dinâmica (*Dynamic Bandwidth Allocation* (DBA)) que permite transporte eficiente de dados. Em

contrapartida, se houver alguma falha na estação central, todas as demais deixam de se comunicar. [27] [29]

A concessionária AES Eletropaulo está montando uma rede multisserviço que utiliza o PLC e o RF Mesh, na qual o Wimax será utilizado como solução de *backhaul*, ou seja, irá transmitir as informações coletadas pelos concentradores até a subestação e daí, via fibra óptica até o CDM. [1]

G. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

É um novo sistema que multiplexa vários comprimentos de onda transmitidos através de uma única fibra óptica, sendo cada comprimento de onda um canal, multiplicando a capacidade de transmissão da fibra o que permite transmissão na casa de Terabits por segundo. O sistema de multiplexação utiliza um canal comum para transmitir pequenos canais de comunicação de uma ponta a outra. A tecnologia DWDM possibilita a transição da atual forma de transporte de dados entre as camadas de serviço e de rede para a tecnologia de transporte de dados otimizada. A Figura 7 abaixo mostra a multiplexação de uma tecnologia DWDM: [29] [30] [31]

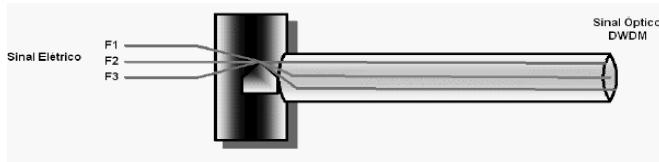


Fig. 7. Multiplexação DWDM (Fonte [31])

Esse tipo de tecnologia é transparente à taxa e ao formato de modulação, isto é, sinais com protocolos ou taxas de transmissão diferentes podem ser multiplexados numa mesma fibra, o que facilita o gerenciamento e a provisão de serviços e reduz os custos da rede de alta capacidade. O DWDM atinge taxas de transmissão acima de 40 Gbps pode alcançar tudo isso enquanto suporta o mesmo grau de performance, segurança, e robustez dos atuais sistemas de transporte. [31]

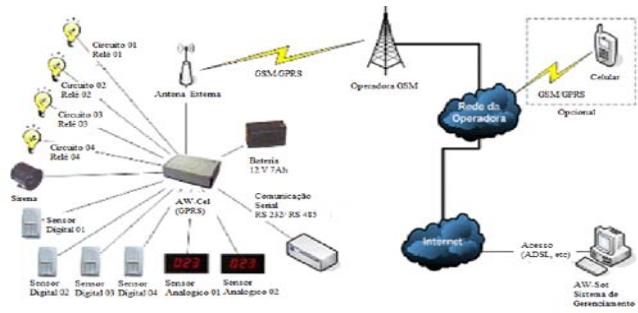
Como características do DWDM destacar-se o fato deste possibilitar a separação de comprimentos de onda que conduzem diversos serviços, admitindo uma variedade de conexões para os elementos da camada de serviço e a multiplexação de comprimentos de onda entre servidores, possibilitando a retirada da informação desejada nos nós das estações intermediárias e mantendo inalteradas as demais. [29] Testes em sistemas DWDM mostram que esta tecnologia tornará possível estabelecer altas taxas de transmissão utilizando a planta óptica existente, promovendo o próximo passo na evolução da infraestrutura de transporte de dados metropolitano. A vantagem da utilização desta tecnologia é o aumento na utilização da largura de faixa, sendo que aproximadamente 100 canais podem ser multiplexados em uma única fibra. [29]

Desde de 2012, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), vem desenvolvendo o projeto 100 Gigabit Ethernet - GETH no qual o DWDM está sendo utilizado para o desenvolvimento da nova geração de sistemas de comunicações ópticas, capaz de proporcionar altas taxas de transmissão (até 9,6 Tbps por fibra óptica). Esta tecnologia é a chave para integração das redes de dados, voz e imagem,

sendo utilizada principalmente em ligações ponto-a-ponto como vem sendo implementado na *Smart Grid*. Não se tem registros de que esta tecnologia esteja sendo implementada nos projetos pilotos brasileiros, porém, esta poderia ser uma alternativa a ser estudada para o desenvolvimento do *backbone* da rede. [31][32]

H. General Packet Radio Services (GPRS)

Também conhecido como 2.5G, esse padrão permite taxa de transmissão teórica de até 171,2 Kbps, sendo típicas as conexões entre 30 e 56 Kbps. É uma tecnologia que possibilita o tráfego de dados através da rede telefônica móvel. [33] [34] No GPRS os recursos são atribuídos a um usuário quando for necessário enviar ou receber dados, pois a informação é dividida em pacotes relacionados entre si antes de ser transmitida e remontada no destinatário, sendo este um ponto essencial e de fundamental importância na *Smart Grid*. Tendo em vista que a troca de informações entre a concessionária e o cliente necessitar que conexão entre ambos esteja sempre atualizada e acionada. Esta técnica permite que vários usuários compartilhem os mesmos recursos, aumentando assim a capacidade da rede e permitindo uma gerência eficiente de recursos. A Figura 8 a seguir mostra a configuração da tecnologia GPRS:



3. Baixo custo de implementação devido ao fato de se poder utilizar a infraestrutura existente das operadoras de telefonia móvel.

Dentre as desvantagens destacam-se: a vulnerabilidade do sistema e o custo de manutenção, pois a concessionária terá de manter um contrato com alguma prestadora de serviços de telefonia. O EDP e Ecil Energia descartaram o seu uso no projeto InovCity por ele não atender aos requisitos mínimos exigidos - Confiabilidade e Disponibilidade. [1] [33] [38]

I. 3G

A Terceira Geração de Telefonia Móvel (3G) representa um progresso no quesito capacidade (taxa de transmissão na ordem de 2 Mbps) se comparada ao GPRS. O 3G foi desenvolvido para que os usuários possam ter acesso à internet móvel com qualidade similar as conexões fixas em banda larga. Entre os serviços prestados estão à telefonia e a transmissão de dados a longas distâncias, tudo em um ambiente móvel.

O desenvolvimento da *Smart Grid* pode se beneficiar da utilização do 3G das seguintes formas: [39] [40]

1. Serviços altamente confiáveis com cobertura onipresente;
2. Tecnologia madura suportada por padrões globais;
3. Alta confiabilidade - projeto de rede redundante com aproximadamente 99% de disponibilidade;
4. Segurança robusta - *Built-in* de segurança; utilizados em setores do governo e finanças;
5. Alto desempenho - Alto rendimento com latência média de milissegundos;
6. Alta escalabilidade - milhões ou até bilhões de conexões em todo o mundo.

A Tabela II mostra o comparativo entre as tecnologias utilizadas na *Smart Grid*, apresentando os benefícios e o suporte futuro da utilização do 3G.

**TABELA II
COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DO 3G NA SMART GRID**

Fonte [40]

	3G	GPRS	RF Mesh (Field Area Network)	PLC (Field Area Network)
Ease of network deployment and operation	<ul style="list-style-type: none"> Deployed and maintained by cellular operators. Strong ecosystem that drives cost lower. 	Same as 3G.	<ul style="list-style-type: none"> Utilities responsible for network deployment and maintenance. Requires new network. Lack of global unlicensed 900MHz bands may require use of higher frequencies with poor link budget. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilities responsible for network deployment and maintenance.
Lifetime	<ul style="list-style-type: none"> Mature technology with >300 networks worldwide. Still in deployment in various regions. 	<ul style="list-style-type: none"> Cellular operators refarming 2G spectrum for higher speed 3G / 4G networks. 	<ul style="list-style-type: none"> Limited vendor support. Proprietary point solution with no other known scalable use-cases. 	<ul style="list-style-type: none"> Dependent on long-term technology traction.
High capacity and performance	<ul style="list-style-type: none"> High capacity with 2+ Mbps data rate today. Superior latency performance for real-time applications. 	<ul style="list-style-type: none"> Low data rate. Capacity/performance depends on voice traffic sharing the same RF carrier. 	<ul style="list-style-type: none"> Low capacity/data rate. Performance highly dependent on network configurations. 	<ul style="list-style-type: none"> Low data rate that degrades as distance between end points increases.
Low interference with other networks	<ul style="list-style-type: none"> Use licensed spectrum that is protected from interference. 	Same as 3G.	<ul style="list-style-type: none"> Use unlicensed spectrum shared by cordless phones, baby monitors, walkie-talkies. 	<ul style="list-style-type: none"> Operates in unsealed power cables. Might interfere with wireless technologies.
Available voice and data services for field operations	<ul style="list-style-type: none"> Can utilize existing network service agreement to obtain voice/data services. 	Same as 3G.	<ul style="list-style-type: none"> Must obtain voice/data services from an alternate network. 	<ul style="list-style-type: none"> Must obtain voice/data services from an alternate network.

Support the feature

Partially support the feature

Do not support the feature

Entretanto o 3G requer a instalação de novos equipamentos e apenas uma parte da malha das estações está apta a trabalhar com a nova tecnologia. Como nem sempre estas condições são atendidas, muitas concessionárias, ou não adotam esta alternativa ou apenas o fazem de forma parcial, utilizando redes híbridas onde a tecnologia 3G fica localizada nos concentradores. [14] [41] [42]

Em 2014, a concessionária Eletrobrás deu início ao projeto Energia + que contempla seis distribuidoras nos estados do Alagoas, Acre, Piauí, Rondônia, Boa Vista e Amazonas. Serão investidos US\$ 675,3 milhões para o desenvolvimento de toda a infraestrutura de comunicação. O 3G faz parte das tecnologias que serão utilizadas para comunicação entre as unidades consumidoras, concentradores locais/metropolitanos e o centro de medição. [43]

IV. DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DA *SMART GRID* NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL

A migração do sistema elétrico atual para a *Smart Grid* depende de uma série de medidas regulatórias, fiscais e de desenvolvimento tecnológico nacional. Este trabalho exige que o governo, agências reguladoras e legisladoras e concessionárias trabalhem de forma conjunta. Caso esta parceria não se desenvolva esta evolução está sob o risco de não sair da fase de teste. Para regulamentar e monitorar esta evolução a ANEEL, em julho de 2010, atendendo à Chamada nº 011/2010, iniciou o projeto “Programa Brasileiro de Redes Inteligentes”. Porém, para as concessionárias, o maior problema ainda é regulatório. Segundo Paulo Bombassano, da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), os investimentos em P&D devem ser considerados na tarifa de energia elétrica. Em entrevista a Revista Telesíntese ele disse: “Nós investimos R\$ 215 milhões em redes inteligentes. Temos mais R\$ 1 bilhão para investir, que estão aguardando as definições”. [44] A instalação dos *Smart Meter's* e da infraestrutura de comunicação representam 42% dos investimentos que vêm sendo feitos no desenvolvimento da *Smart Grid*.

Antes de 2012 não havia uma regulamentação que especificasse os requisitos básicos para os sistemas de medição eletrônica de energia das unidades consumidoras e a ANEEL em sua 29ª Reunião Pública Ordinária, os regulamentou.

Para André Pepitone da Nóbrega, diretor da ANEEL, a *Smart Grid* transformará a rede elétrica existente em uma rede similar a internet. Ele salientou que os fatores que impulsionam a ANEEL a estudar a implantação das *Smart Grid's* no Brasil é a necessidade de melhorar a qualidade no serviço prestado, bem como de reduzir as perdas técnicas e não-técnicas e os custos operacionais. [44] [45]

A ANEEL também regulamentou, nos últimos anos, diferentes resoluções relacionadas à *Smart Grid* das quais podemos mencionar as mais importantes:

1. Modalidade tarifária horária - Resolução N°. 479 de Abril/2012;
2. Condições para o acesso de microgeração e minigeração, com a criação do sistema de

compensação de energia elétrica - Resolução Nº 482 de Abril/2012.

Outro avanço quanto a regulamentação da *Smart Grid* é o desenvolvimento do protocolo de comunicação brasileiro para as redes inteligentes denominado SiBMA - Sistema Brasileiro de Medição Avançada. Este é um protocolo de comunicação aberto e padronizado que permitirá a integração dos medidores aos sistemas de telemedição das distribuidoras de energia, sendo compatível com a *Internet of Things* (IoT) que permite a implantação de sistemas *Machine-To-Machine* (M2M) cooperativos e amplamente escaláveis. [46] [47]

No ano de 2014 foi publicada a Resolução Conjunta entre ANATEL e a ANEEL Nº 4, de Dezembro/2014, que entrou em vigor no dia 30 de março de 2015. Essa resolução estabeleceu o preço de referência para o compartilhamento de postes entre distribuidoras de energia elétrica e prestadoras de serviços de telecomunicações e as regras para uso e ocupação dos Pontos de Fixação. [48] [49]

Outro desafio na implementação da *Smart Grid* é a questão da tecnológica nacional. Segundo a presidente da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Maria Luísa Leal, para que os equipamentos necessários ao desenvolvimento da *Smart Grid* sejam desenvolvidos e produzidos em território nacional deve haverá o casamento entre a regulação e a política de estímulo ao desenvolvimento tecnológico. Se não houver este casamento, os produtos serão importados e o Brasil deixará de aproveitar esta oportunidade de desenvolver a indústria nacional. [45]

Estes conjuntos de medidas farão com que a implementação da *Smart Grid* se torne realidade. Porém, outra questão não definida é como serão captados os recursos necessários neste desenvolvimento e quem irá arcar com estes custos.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentamos uma visão geral das redes de telecomunicações aplicadas a *Smart Grid*, desafios e oportunidades impostos pelas comunicações, como por exemplo, interoperabilidade, novas exigências de infraestrutura, escalabilidade e resposta à demanda. O sucesso da *Smart Grid* depende das redes de telecomunicações para proporcionar os benefícios requeridos nesse conceito.

Os resultados de muitos dos projetos pilotos existentes podem ser potencialmente aplicados em larga escala. Também se discutiu o status atual de padronização do sistema brasileiro, visto que muitas das concessionárias envolvidas em projetos pilotos estão adotando tecnologias distintas. É desejável ter-se um único conjunto de padrões que definam as interfaces de comunicação e de intercâmbio de dados na *Smart Grid*. No entanto, devido às questões econômicas e geográficas esta uniformização de padrões não é aplicável ao setor elétrico brasileiro.

Embora o roteiro de implantação desta infraestrutura de comunicação em todo o mundo, ainda não esteja claro, é certo que o futuro da *Smart Grid* necessita de tecnologia avançada de TIC.

REFERÊNCIAS

- [1] Redes elétricas inteligentes saem do papel. C&I - Controle & Instrumentação. São Paulo: Valete, São Paulo, n. 119, p. 28-35, ago. 2014.
- [2] E. Cruz (2015, Jan.). Redes Inteligentes Brasil [Online]. Disponível: <http://redesinteligentesbrasil.org.br/>
- [3] R. Rivera, A. S. Esposito, I. Teixeira (2015, Jan.). Redes elétricas inteligentes (*Smart Grid*): oportunidade, para adensamento produtivo e tecnológico local. Revista do BNDES. Rio de Janeiro: BNDES, n. 40, p 43-81, dez. 2013.
- [4] Electric Power Research Institute (2014, Dez.). Smart Grid Resource Center [Online]. Disponível: <http://smartgrid.epri.com/Index.aspx>.
- [5] Relatório *Smart Grid*. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes Ministério de Minas e Energia (2015, Jan.) [Online]. Disponível: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatario_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157
- [6] D. Gascón (2015, Jan.). IEEE 802.15.4 vs ZigBee [Online]. Disponível: <http://sensor-networks.org/index.php?page=0823123150>
- [7] Silicon Laboratories (2015, Jan.). ZigBee-based Home Area Networks Enable Smarter Energy Management [Online]. Disponível: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/ZigBee-based-HANs-for-Energy-Management.pdf>
- [8] G. N. Dias (2015, Jan.). "Mini-Curso Tecnologias De Redes Sem Fio" In: 6º SINFORM – Semana de Informática da UESC. Itabuna – Bahia. 2009.
- [9] R. R. de Vasconcelos (2015, Jan.). PLC /Power Line Communications [Online]. Disponível:http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2009_2/renan/index.html
- [10] T. L. Santos (2015, Fev.). Power Line Communication [Online]. Disponível:http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/index.htm
- [11] T. M. Barbosa (2015, Fev.). *Smart Grid: As Redes Elétricas Inteligentes do Futuro*. Universidade São Francisco. Monografia. Universidade São Francisco. Itatiba. 2010.
- [12] G. G. Bongiolo, T. A. de Miranda. *Smart Grid e PLC: Uma Análise Da Regulação Europeia E Desenvolvimento De Um Sistema Simples De Integração Destas Tecnologias*. Monografia. Universidade tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2013.
- [13] M. E. Mattar. (2015, Jan.). PLC É Alternativa De Conexão À Internet Banda Larga. [Online]. Disponível: <http://www.guiadascidadesdigitais.com.br/site/pagina/plc-alternativa-de-conexao-internet-banda-larga>
- [14] PLC (2015, Jan.) [Online]. Disponível: <http://www.cpqd.com.br/tags/plc>
- [15] L. F. de Souza (2015, Jan.). Compartilhamento De Internet Fixa Entre O Cliente E A Concessionária De Energia Elétrica [Online]. Disponível: <http://professor.unisinos.br/rbavila/documents/Sousa13.pdf>
- [16] J. W. V. Rocha (2015, Jan.). "Rede de Sensores Sem Fio" [Online]. Disponível: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/>
- [17] Overview Projeto Inovcity Aparecida (2015, Fev.) [Online]. Disponível: <http://www.ecilenergia.com.br/download/Smart%20Grid%20-%20Inovcity%20Aparecida.pdf>
- [18] F. O. S. B. Schiller. "Redes em Malha" [Online]. Disponível: http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf/felipe/index.htm
- [19] Sitename (2015, Jan.) Redes sem fio em malha [Online]. Disponível: http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/malha/aplicacoes.html
- [20] Teleco.com. Serviços Banda Larga: Uso de GPON [Online]. Disponível: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialblgpon/pagina_2.asp
- [21] Cianet (2015, Fev.). Saiba mais sobre Redes Ópticas Passivas (xPON) – GEAPON x GPON [Online]. Disponível: <http://blog.cianet.ind.br/saiba-mais-sobre-redes-opticas-passivas-xpon-gepon-x-gpon-2/>
- [22] L. Mariano (2015, Fev.). Topologia GPON você sabe o que é? [Online]. Disponível: <http://lucianamarianoti.wordpress.com/2011/10/17/topologia-gpon-voce-sabe-o-que-e/>
- [23] F. B. Roland. (2015, Jan.). Recursos da solução GPON. [Online]. Disponível:http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcidgpone/pagina_4.asp
- [24] E. Alecrim (2015, Jan.). O Que é Wi-Fi (802.11)? [Online]. Disponível: <http://www.infowester.com/wifi.php>

- [25] C. P. de Barros, V. E. do Nascimento, L. A. Ramalho (2015, Fev.). Análise Do Comportamento de Dados *Smart Grid* em Rede *Wi Fi* Com Tráfego Heterogêneo [Online]. Disponível:<http://jornada.cba.ifmt.edu.br/jornada/index.php/jornada2013/jornada2013/paper/viewFile/50/28>
- [26] P. M. N. Silva. (2015, Jan.). Sistemas Rádio Ponto-Multiponto como Optimização de Transmissão para a Rede de Acesso 2G/3G [Online]. Disponível:<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137596467/Dissert%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [27] E. Fagundes (2015, Fev.). WiMAX [Online]. Diponível: <http://www.efagundes.com/artigos/WiMAX.htm>
- [28] H. B. Moraes (2015, Jan.). Proposta de um mecanismo de policiamento de tráfego baseado em token bucket para redes IEEE 802.16 [Online]. Disponível:http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/3905/1/PropostaMecanism_oPolicimento.pdf
- [29] M. Filaskoski. (2015, Jan.). WDM e DWDM [Online]. Disponível: file:///C:/Users/Nayara/Desktop/IC/Material%20de%20pesquisa/Tecnologias/IC/DWDM/WDM%20e%20DWDM%20-%20Mestrado%20UFPR.htm
- [30] J. O. Pinto 'et al' (2015, Jan.). DWDM Em Redes Metropolitanas. [Online]. Disponível: <http://www.rederio.br/downloads/pdf/nt00102.pdf>
- [31] DWDM (2015, Jan.) [Online]. Disponível: http://www.gta.ufsj.br/grad/04_1/wdm/dwdm.html
- [32] DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing (2015, Fev.) [Online]. Disponível: <http://www.cpqd.com.br/tags/dwdm-dense-wavelength-division-multiplexing>
- [33] J. M. S. Pinheiro (2015, Jan.). Sistema de Transmissão e Meios Ópticos [Online]. Disponível: <http://www.eeec.ufg.br/~lguedes/moodle/txdados/fo.pdf>
- [34] L. F. de Souza. Compartilhamento De Internet Fixa Entre O Cliente E A Concessionária De Energia Elétrica. Monografia Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2013.
- [35] G. B. C. Souza (2015, Fev.). Tecnologias De Comunicação E Aplicações Em *Smart Grid*. [Online]. Disponível: http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pibic/trabalhos/GUSTAVO_PDF
- [36] A. C. Pascalicchio. Perspectiva Econômica e Modelo de Negócio da Tecnologia de Telecomunicações nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica no Brasil. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- [37] Y. Lopes. 'et al'. (2015, Fev.). Minicurso para o SBrT' 2012: *Smart Grid* e IEC 61850: Novos Desafios em Redes e Telecomunicações para o Sistema Elétrico. [Online]. Disponível: http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/99346_1.pdf
- [38] E. G. Maldonado. Estudo da Comunicação de um Compensador Série para Rede de Distribuição com o Centro de Controle Utilizando Tecnologia GPRS. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho. Ilha Solteira, 2013.
- [39] L. M. Oliveira. (2015, Jan.). Intenet 3G. Tudo Sobre A Nova Onda Do Momento. [Online]. Disponível: http://www.oficinadanet.com.br/artigo/1353/internet_3g_tudo_sobre_a_nova_onda_do_momento
- [40] QUALCOMM Incorporated. (2015, Fev.). *Smart Energy for Smart Cities Webinar* [Online]. Disponível: <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2012/05/andywooddirectorbusinessdevelopmentsmartenergyhomesecurityandautomationqualcomm.pdf>
- [41] J. F. Caldeira. (2015, Jan.). Estudo E Desenvolvimento De Uma Plataforma De Comunicação Sem Fio Para Redes Elétricas Inteligentes. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.
- [42] P. T. Frare. *Smart Grid: Implantação Do Sistema De Rede Inteligente No Brasil*. Monografia. Universidade São Camilo, Campinas 2011.
- [43] F. Fonseca (2015, Fev.). Projeto de *Smart grid* da Eletrobrás prevê transmissão de dados por redes das celulares [Online]. Disponível: <http://www.telesintese.com.br/projeto-de-smart-grid-da-eletrobras-preve-transmissao-de-dados-por-redes-das-celulares/>
- [44] M. Aquino (2015, Mar.). *Smart Grid* só deslancha se Aneel reconhecer investimento, afirmam eletrônicas [Online]. Disponível: <http://www.telesintese.com.br/smart-grid-deslancha-de-aneel-reconhecer-investimento-affirmam-eletricas/>
- [45] ANEEL regulamenta medidores eletrônicos (2015, Mar.) [Online]. Disponível: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5903&id_area=90
- [46] H. Lamin. Análise de impacto regulatório da Implantação de redes inteligentes no Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília. 2013.
- [47] Primeiro passo para medição inteligente e o *Smart Grid* no Brasil. Revista Abinee São Paulo: Abinee, n 64, p 4, dez. 2014.
- [48] A. Madeira (2015, Mar.). Resolução conjunta entre Anatel e Aneel sobre compartilhamento de postes [Online]. Disponível: <http://www.stconsulting.com.br/telecom/resolucao-conjunta-entre-anatel-e-aneel-sobre-compartilhamento-de-postes#.VSNTJPnF9y4>
- [49] J. B. de Rezende (2015, Mar.). Resolução Conjunta nº 4, de 16 de dezembro de 2014 (Aneel e Anatel) [Online]. Disponível: <http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/resolucoes-conjuntas/818-resolucaoconjunta-4>

Ensino de Engenharia através do Desenvolvimento de Jogos utilizando Construct2

Khaíque de Paula Rocha Silva

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
khaiquesilva@gec.inatel.br

Evandro Luís Brandão Gomes

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
evandro@inatel.br

Resumo—Este artigo tem o intuito de expor a relação existente entre o conhecimento adquirido durante a graduação em engenharia e o desenvolvimento de jogos, tendo como base o software Construct 2.

Palavras chave—Construct 2, Desenvolvimento de jogos, Engenharia, Software.

I. INTRODUÇÃO

A elaboração de jogos por muitas vezes demanda conhecimento de áreas específicas como linguagens de programação, técnicas de design, áudio, entre outras. Além dessas, não menos importante, se faz necessária a compreensão de temas primordiais como Matemática, Álgebra e Física de forma a construir ambientes coerentes.

O Construct 2 se apresenta como um facilitador nesse processo, consolidando o conhecimento de lógica e relacionando áreas de estudos fundamentais durante o aprendizado da ferramenta e a experimentação de seus recursos através de algumas abstrações que o torna mais simplificado que outros softwares do gênero.

II. DESENVOLVIMENTO DE JOGOS

No processo de criação de jogos observa-se a aplicação de conhecimentos teóricos vistos em alguns cursos da área de ciências exatas, como os que são abordados no curso de engenharia.

Disciplinas envolvendo matemática, álgebra, física e, principalmente, algoritmos se mostram relevantes para a criação de um novo universo com suas propriedades particulares.

Com um breve período de aprendizado já é possível desenvolver, assim chamados, “mapas” utilizando o programa. Para a construção desses cenários peculiares é necessário o entendimento de alguns conceitos facilmente aplicáveis através do Construct 2 [1].

A. Conceitos físicos

A simulação das grandezas a que estamos submetidos e que nos envolvem – gravidade, aceleração, impulso e etc. – são aplicáveis de maneira simples. No entanto, os ajustes necessários para que a física do novo universo seja coerente exigem o domínio dos conceitos que a regem.

B. Conceitos matemáticos e algébricos

Assim como na física, a aplicação da matemática e álgebra demanda conhecimento teórico por parte do desenvolvedor.

Ter a compreensão de como é feito o cálculo vetorial, mensurar a distância entre pontos e conhecer a estrutura de matrizes é de suma importância.

C. Algoritmo

Dentre tudo o que é necessário para o desenvolvimento de jogos, a lógica é o mais imprescindível, pois tudo depende do quanto bem ela foi aplicada.

A forma com que o personagem se movimenta, os *triggers* que são acionados quando se cumpre algum objetivo e a relação dos elementos para se obter alguma recompensa dentro do jogo, que fazem parte da definição de jogos [2], têm um papel fundamental para manter a atenção de jogadores e garantir o engajamento e motivação dos desenvolvedores [3].

III. CONSTRUCT 2

A forma com que o Construct 2 possibilita que recém-chegados ao ramo de criação de jogos é destacável.

Seguindo uma linha diferente de outras *engines* como Unity e XNA, por exemplo, ela não demanda do desenvolvedor um conhecimento prévio de qualquer linguagem de programação específica [1] [4].

Baseando-se em programação por meio de blocos lógicos de comando, a ferramenta apresenta um espaço para a criação e manipulação da lógica que relacionará os objetos que compuserem o jogo, chamado *Event sheet*. É onde toda a técnica relacionada a estruturas comparativas e encadeadas, por exemplo, se mostram necessárias.

Visto que há total abstração de linguagens de programação,

o desenvolvedor pode trabalhar com mais liberdade a lógica que será empregada em um projeto.

IV. CONCLUSÕES

A forma com que o Construct 2 aborda o desenvolvimento de jogos, principalmente para novos exploradores dessa área, é seu ponto principal de vido a facilidade encontrada para a criação e verificação dos resultados de forma bastante dinâmica.

Assim como, a manipulação de elementos que possuem intrinsecamente aplicações de Física, Matemática e Algoritmos

classifica o programa como ferramenta de ensino eficiente [1].

REFERÊNCIAS

- [1] Construct 2. Disponível: <http://www.scirra.com/construct2>
- [2] Rabin, Steve (2012). Introdução ao Desenvolvimento de Games vol. 1 – Entendendo o universo dos jogos. São Paulo: Cengage Learning.
- [3] Claypool, Kajal and Claypool, Mark (2005). *Teaching software engineering through game design*. ACM, New York, NY, USA, 123-127.
- [4] XNA Developer Center. Disponível: <http://msdn.microsoft.com/en-us/aa937791.aspx>

Desenvolvimento de Jogos no Ensino da Engenharia

Daniel Sader Pontello Neves

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
danielpontello@gmail.com

Resumo— Este artigo apresenta métodos de aprimorar o ensino de Engenharia utilizando o desenvolvimento de jogos virtuais, baseado em cursos administrados no Inatel durante o ano de 2014. Mostraremos a estrutura dos cursos aplicados, os métodos de avaliação, os resultados obtidos, e potenciais melhorias a serem aplicadas.

Palavras-chave—Ensino, Desenvolvimento, Jogos, Engenharia

I. INTRODUÇÃO

A. O Desenvolvimento de Jogos como forma de Ensino

O Desenvolvimento de Jogos é uma área extremamente abrangente, envolvendo várias áreas tanto das ciências exatas quanto das ciências humanas. Esta grande abrangência faz com que a criação de jogos seja um excelente método para o ensino da Engenharia, dando aos alunos uma forma alternativa de visualizar e aprender vários conceitos matemáticos e técnicos. Uma análise mais profunda da utilização de jogos no ensino de Engenharia foi realizada em outro artigo [1].

B. Aplicação dos conceitos no Inatel

Durante o ano de 2013, foi realizado um curso básico de desenvolvimento de jogos no Inatel, como um experimento para validarmos a aplicação deste tipo de curso em uma instituição de ensino superior. Os resultados obtidos no curso foram analisados em outro artigo [2]. Obtivemos um *feedback* positivo dos alunos que participaram do curso.

Baseado neste *feedback*, aplicamos um novo curso, desta vez abrangendo temas mais complexos, mudando o foco de jogos 2D para jogos 3D e utilizando uma ferramenta mais poderosa. Este artigo descreve os detalhes deste curso, as mudanças em relação ao curso anterior e possíveis melhorias que ainda podem ser realizadas nesta área.

II. O CURSO

A. Estrutura

O curso teve uma duração de 10 semanas, com uma aula de 1 hora e meia de duração por semana, e duas turmas de 24 alunos cada. O curso foi aberto a todos os alunos do Inatel como uma Atividade Complementar Eletiva.

B. Ferramenta

A ferramenta utilizada no curso foi a *engine* Unity 3D, uma ferramenta amplamente utilizada no ambiente de desenvolvimento de jogos e aplicações interativas.

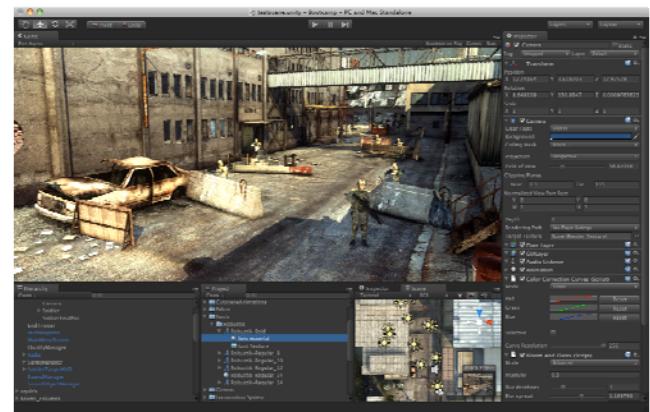


Fig. 1. Captura de tela da ferramenta

A ferramenta utilizada no curso anterior, o Construct 2, é extremamente simples de usar; porém, é bastante limitada. Por isso, foi necessário realizar a troca da ferramenta para uma mais completa [2]. Algumas diferenças entre estas duas ferramentas são mostradas na Tabela I.

TABELA I
Diferenças entre o Construct 2 e o Unity 3D

RECURSO	CONSTRUCT	UNITY
Gráficos	2D	2D e 3D
Linguagem de Programação	Blocos Lógicos	C#, JavaScript, Boo
Bibliotecas	Pré-definidas	.NET 3.5
Efeitos Gráficos	Pré-definidos	Programáveis
Exportação	HTML5	Apps Nativos

C. Aulas

Cada uma das aulas focou em um aspecto relevante ao desenvolvimento de um jogo (Arte, Física, Áudio, etc.). No início de cada aula, uma pequena apresentação era exibida aos alunos, explicando conceitos básicos relevantes ao assunto da aula. Estas explicações eram deliberadamente incompletas, encorajando os estudantes a pesquisarem mais

sobre o assunto. Um exemplo foi o objeto AudioSource, que representa uma fonte de som 3D. A explicação apresentada mostrava como inserir, reproduzir e parar um som. Porém, outros parâmetros opcionais foram explicitamente omitidos, de forma a instigar os alunos a explorarem os recursos da ferramenta. Sites e livros foram recomendados aos alunos para auxiliar em suas pesquisas.

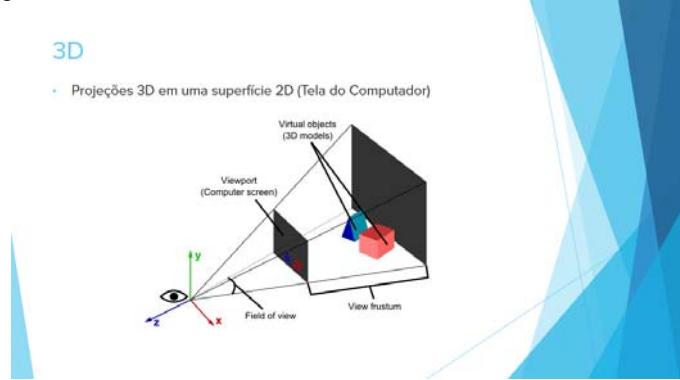


Fig. 2. Exemplo de slide apresentado aos alunos

Durante as partes práticas, os alunos foram guiados na construção de um jogo. As primeiras aulas foram dedicadas a construção de um jogo-base, com um sistema básico de câmera e controles. Nas aulas subsequentes, conceitos mais complexos foram gradualmente sendo explicados e implementados neste jogo-base, resultando, ao final do curso, em um jogo completo.

D. Avaliação

A avaliação dos cursos foi baseada em 3 tópicos: Frequência, exercícios aplicados em sala, e um Projeto Final.

Frequência: A nota do aluno era zerada caso sua presença fosse inferior a 75% (7 Aulas).

Exercícios: Durante as aulas, exercícios curtos eram aplicados aos alunos, de forma a testar os conhecimentos adquiridos durante a aula. Estes exercícios geralmente envolviam a implementação de alguma das funcionalidades não abordadas na explicação teórica. Uma nota foi dada para cada exercício feito pelo aluno e verificado pelos instrutores.

Projeto Final: Durante o curso, um jogo foi gradualmente sendo construído pelos alunos. No final do curso, este jogo foi avaliado, levando em consideração quais dos conceitos explicados durante as aulas foram adicionados ao projeto.

Projeto Final - Curso Unity

Equipe:	
Data:	
Quintos	
Creatividade	
Compreensão	
Estética	
Recursos	
Rigidbody	
Raycasting	
Triggers	
Particles	
GUI	
Mobile	
Audio	
Outros	
Observações	
Nota:	

Fig. 3. Planilha utilizada na avaliação dos Projetos Finais

Os quesitos Criatividade e Estética foram avaliados no Projeto Final, porém, como estes são critérios subjetivos, seu peso na nota final foi reduzido.

E. Criatividade

Durante o desenvolvimento do Projeto Final, foi permitida a utilização de quaisquer recursos encontrados pelos alunos (Músicas, Modelos 3D, Texturas, etc.), desde que estes recursos não infringissem nenhuma lei de Direitos Autorais. No curso anterior, os alunos eram limitados a utilizar um conjunto de recursos selecionado pelos instrutores. Isto fez com que a maioria dos projetos finais fossem muito semelhantes, limitando a criatividade dos alunos na criação do projeto. A remoção desta limitação resultou em projetos mais originais, utilizando ambientes e técnicas mais distintos e interessantes.

III. RESULTADOS

O curso teve todas as suas vagas ocupadas, porém, houve uma alta taxa de evasão (48%). Isto significa que, dos 48 alunos inscritos, apenas 26 permaneceram até o fim do curso. As duas principais causas para este alto índice foram o excesso de atividades relativas a graduação (provas, trabalhos, etc.) e a dificuldade de alguns alunos na área de Programação.

Duas medidas serão tomadas para tentar reduzir esta taxa de evasão:

1. Alteração dos horários do curso para horários livres na graduação; ou seja, nenhuma aula é aplicada nestes horários
2. Foi adicionado o pré-requisito de ter completado a matéria de Programação Orientada a Objetos. Desta forma, os alunos já terão aprendido os conceitos necessários para um bom entendimento do curso.

Foram entregues 12 projetos finais, variando de jogos de Tiro em Primeira Pessoa a jogos de quebra-cabeças. Alguns destes projetos foram apresentados na FETIN, a Feira Tecnológica do Inatel, sendo bem recebidos pelo público.

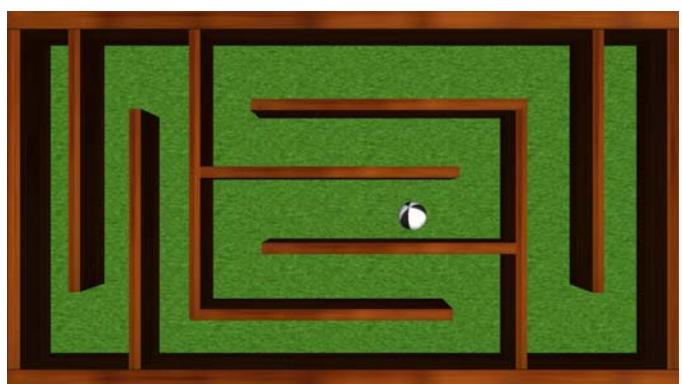




Fig. 4. e 5. Jogos desenvolvidos pelos alunos

IV. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de jogos pode ser utilizado como uma excelente ferramenta para explicar conceitos relativamente complexos da Engenharia, como Física, Álgebra e Cálculo. Porém, é necessário analisar cuidadosamente fatores como o interesse dos alunos, as dificuldades encontradas por eles e a disponibilidade dos mesmos, de forma a maximizar o alcance e a efetividade das ações utilizando o desenvolvimento de jogos.

REFERÊNCIAS

- [1] D. S. P. Neves, “Levantamento de Plataformas para Desenvolvimento de Jogos”
- [2] A. H. G. C. Alves ; C. A. Ynoguti; D. S. P. Neves; P. J. Matuck, “Enhancing Computer Engineering Courses with Game Development”. in *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*, Medellin, Colombia, 2014.

Gamificação no Ensino de Algoritmos através do Jogo “Piratas do Futuro”

Rosimara Beatriz Arci Salgado

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
rosimara@inatel.br

Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
ynoguti@inatel.br

Jonas Vilasbôas Moreira

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
jonas@inatel.br

Eduardo Heluany Duarte

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
eduardoheluany@gmail.com

Rodrigo Carlos Brezolin Martins

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
rodrigomartins@gea.inatel.br

Resumo—Este artigo contém informações sobre o aperfeiçoamento e aplicação do conceito de gamificação na ferramenta “Piratas do Futuro”, que foi desenvolvida com base em jogos do gênero RPG (*Role Playing Game*) a fim de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em algoritmos e lógicas de programação.

Palavras-chave—Gamificação, educação, RPG, lógica de programação.

I. INTRODUÇÃO

O presente artigo tem a finalidade de apresentar o aperfeiçoamento e aplicação do conceito de gamificação no projeto de Iniciação Científica “Piratas do Futuro” realizado durante o ano de 2014. Trata-se de um projeto, que tem como base uma ferramenta *web*, cujo fundamento é o de incentivar e o de ajudar alunos que cursam Algoritmos. Isso consiste em criar meios para o desenvolvimento do raciocínio lógico e, também, para fortalecer o conhecimento do aluno de computação em estruturas de dados a fim de que ele ganhe habilidade na criação de algoritmos.

O projeto “Piratas do Futuro” foi iniciado em 2011 e em 2012, a ferramenta foi levada para dar continuidade como projeto de Iniciação Científica. Hoje ele possui a finalidade de testar a ferramenta para uso na disciplina “Algoritmos I” dos cursos de Engenharia da Computação do Inatel.

No seguinte artigo iremos expor as atividades realizadas durante o ano de 2014 e mostrar as ferramentas usadas no desenvolvimento e aprimoramento do jogo.

II. O JOGO

O jogo “Piratas do Futuro” tem o objetivo de auxiliar os alunos no processo de aprendizagem na disciplina de Algoritmos 1. É uma ferramenta *web* hospedada na nuvem e que pode ser usada a qualquer momento.

É baseada nos conceitos de RPG (*Role Playing Game*). Onde os personagens ganham experiência e novas habilidades ao decorrer da história do jogo.

O jogo se ambienta em um ambiente pós-apocalíptico onde os recursos naturais são escassos e a água não potável tomou conta de praticamente toda superfície do planeta Terra.

Cada aluno pode criar um personagem através de um *login* no *site* e pode distribuir os pontos de habilidade de seu personagem de acordo com sua vontade.

Através da criação de um *login* no *site*, o aluno pode criar seu personagem e ter acesso a todas as atividades disponíveis. A realização destas atividades objetiva o “crescimento” do personagem criado, através das recompensas que podem ser experiência, itens ou dinheiro.

A. Aplicação da Gamificação

Com a evolução da tecnologia ficou muito mais fácil qualquer pessoa ter acesso a dispositivos conectados à internet. Muito mais que isso, cada vez estamos dependentes dos recursos dos aparelhos para fazermos as tarefas do cotidiano. Apesar de tanto avanço, o processo de ensino ainda continua muito parecido com o que vem sendo usado desde muito tempo atrás, então pensamos em aliar a tecnologia ao processo de educação.

Os jogos (por conta sua capacidade de imersão e interatividade) podem abrir caminhos para a presença da tecnologia no espaço escolar. Embora muitos games tenham sido criados para ensinar algum tipo de conteúdo didático, a

gamificação significa usar recursos dos games e não criar um game.

A mecânica de pontuação, prêmios, missões, desafios, ranking, criação de avatares, entre outros, são exemplos de como o usuário pode se envolver com o Piratas do Futuro, tornando o estudo menos pesado, ponto alto do jogo.

Elas têm função de motivar, de fazer o outro melhorar seu desempenho. A tendência já revoluciona a forma como o conteúdo é passado aos alunos, que fora da escola, já estão acostumados a brincar em diferentes dispositivos eletrônicos.

Além disso, os jovens se sentem mais motivados quando um desafio é posto frente a eles. Isso faz com que menos alunos desistam de resolver os exercícios.

É importante lembrar que o propósito maior do Piratas do Futuro é o auxílio no ensino de algoritmos. Sendo assim, toda a parte técnica como as perguntas sobre o tema e os métodos de correção foram desenvolvidas para que atendessem o conceito

B. Desenvolvimento

É importante lembrar que o lado lúdico faz parte da natureza humana. O professor e historiador neerlandês Johan Huizinga, autor do livro “Homu Ludens”[1] (“Homem que joga”), categoriza o jogo como uma condição primária da vida, tão essencial quanto o raciocínio

A atenção de educadores e pesquisadores com o assunto passaram a ter outros olhos quando se trata de interesse do aluno sobre o aprendizado na matéria, com o auxílio de um jogo RPG. Assim, essa pesquisa prossegue com essa análise: a relação do RPG com a Educação Escolar.

Com esse reconhecimento, motivar e ajudar os alunos no processo de memorização e entendimento dos conteúdos trabalhados em sala de aula, o projeto vem reiterar a importância dos jogos para a educação.

Quando um novo personagem é criado no jogo “Piratas do Futuro”, o aluno é inserido neste contexto, cada missão que ele faz, seja um problema ou um desafio está relacionado com esta história principal. Ele deve fazer as tarefas, sejam elas missões ou desafios para de certa forma “garantir seu lugar” nesta sociedade virtual. Portanto, a ferramenta combina características específicas do estilo do jogo com exercícios importantes para o aprendizado, incluindo “Desafios” inerentes à disciplina de Algoritmos.

Cada desafio possui um enunciado contextualizado com a história do jogo e, para sua solução, é necessário que o jogador interprete o que é pedido, crie uma solução para o problema na linguagem C++ e o envie, através do sistema web, para a correção automática.

Outras atividades que podem ser feitas para evoluir o personagem criado, existem, como a realização de missões ou lutas, porém como a ferramenta é aplicada à educação, foi adotada a estratégia de fornecer mais recompensas para os desafios entregues e corretos do que para qualquer outra atividade do jogo. Assim, o aluno consegue ficar à frente dos seus oponentes mais facilmente somente se optar por enviar os algoritmos.

C. Ferramentas

A ferramenta “Piratas do Futuro” foi criada com o intuito de torná-la acessível, assim, concebida com base em um sistema web, utilizando-se das linguagens HTML, CSS, PHP, JavaScript e banco de dados MySql.

HTML e CSS são linguagens de programação voltadas para a parte visual do *site layout*, seu uso torna-se prioridade. PHP refere-se à uma linguagem de script, atuando-se em um servidor, seu uso é necessário, pois há uma interação com a linguagem também utilizada, HTML.

A interface remete ao tema “Piratas do Futuro”, fazendo uso de traços que dão a ideia de um mundo fantástico, pós-apocalíptico. O banco de imagens composto por acessórios, armaduras, armas brancas e de fogo foi criado com a mesma identidade.

D. Perspectivas Futuras

Uma das tendências tecnológicas do momento é o “Oculus Rift”, aparelho que possibilita a imersão em realidade aumentada que pode ser aplicada à jogos. O aparelho tem um sensor de movimentos e uma tela LCD embutida. Ele apresenta imagens em 3D e a imagem se move conforme o usuário mexe sua cabeça para os lados.

Futuramente pode ser incorporado ao projeto o uso de realidade aumentada e realidade virtual para maior aproveitamento dos alunos com o Piratas do Futuro



Fig. 1. Oculus Rift.
Fonte: Tecmundo.com.br

III. ATIVIDADES REALIZADAS

A. Aperfeiçoamentos técnicos e gráficos

A criação e o aperfeiçoamento de novas armas e armaduras para o banco de imagens foi feita baseada no conceito de que os piratas sempre usam armas antigas e ultrapassadas. Uma vez que o jogo se ambienta no futuro, as armas usadas pelos personagens seriam equipamentos usados atualmente por tropas e exércitos. Elas foram categorizadas em armas brancas, armaduras e armas de fogo e seus respectivos níveis de dificuldade. As Figuras de 2 até 6 são alguns dos exemplos das novas imagens criadas para o jogo:



Fig. 2. Exemplo de arma branca.



Fig. 5. Exemplo de granada



Fig. 3. Exemplo de armadura.



Fig. 6. Exemplo de arma de fogo



Fig. 4. Exemplo de arma de fogo.

O software “Photoshop CS6” foi usado para vеторizar os novos equipamentos e recompensas que servem como estímulo aos jogadores. Quanto maior o nível de poder e raridade da arma, maior o desafio que deverá ser resolvido pelo aluno.

A arte foi feita com base em documentários sobre armas como o programa de televisão da “History Chanel” chamado “Lock n’ Load”. A experiência do criador com jogos eletrônicos e de ação em primeira pessoa que envolvem armas também foi de grande ajuda e inspiração para a criação.

B. Alteração no sistema de cadastro de imagens

O cadastro de imagens, tanto para armas e munições, quanto para o avatar do aluno, foram modificados. A alteração foi necessária devido ao alto carregamento das páginas, provocando uma lentidão em páginas que contém imagens. As imagens eram salvas direto no banco de dados, fazendo com que a alta qualidade delas, provocassem um ‘bug’ no seu desempenho. Após o estudo e testes de carregamento de imagens utilizando arquivos externos, o procedimento foi alterado, tornando-se o site mais rápido e eficiente.

As imagens que o aluno escolhe são salvas em uma pasta no servidor, onde, o banco de dados possui somente o seu endereço. Ao utiliza-la, a linguagem PHP têm como função buscar o seu endereço no banco de dados, e simultaneamente, pegando-a na pasta salva no servidor.

C. Realização de teste em servidor local

Após alterações de páginas que apresentaram erros, verificação de desafios e missões e o cadastro de 64 novas imagens, foram realizados teste em um servidor local, onde todas as páginas estavam funcionando corretamente, com o menor tempo de processamento possível, fazendo com que o aluno (jogador) gaste menos tempo realizando suas tarefas.

O próximo passo em relação aos testes em servidores, será em um servidor externo, cujo estamos submetendo, para que o jogo possa funcionar para todos os alunos interessados.

IV. CONCLUSÕES

Este projeto de Iniciação Científica evoluiu significativamente no último ano. Foram criadas 64 novas imagens no ano de 2014 e 2015, além da construção de novos desafios a serem solucionados pelos alunos.

A facilidade de ser acessado por qualquer computador conectado à internet é um ponto que vale ser ressaltado, uma vez que agora não existirão barreiras físicas para que os alunos possam ter estímulos e facilidade de aprendizado.

O jogo promete ser de grande valia no auxílio da aprendizagem do estudo de Algoritmos e fornece dados e estatísticas aos professores da matéria

REFERÊNCIAS

- [1] HUIZINGA, J. "Homo Ludens". 4ed. SP, Ed. Brasiliense, 1993.
- [2] BRAGA, J. M. "Aventurando pelos caminhos da leitura e escrita de jogadores de role playing game (RPG)". 2000. 147p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG.
- [3] BOLZAN, R. de F. F. de A. "O aprendizado na Internet utilizando estratégias de roleplaying game (RPG)". 2003. 303p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC.
- [4] ZUCHI, I. "O Desenvolvimento de um Protótipo de Sistema Especialista Baseado em Técnicas de RPG para o Ensino de Matemática". 2000. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis – SC.
- [5] DRUCKER, P. "Sociedade pós-capitalista". São Paulo, Pioneira, 1995, p.156.
- [6] FREUD S (1911). Formulações sobre os dois princípios do fundamento mental. "Edição standard brasileira das obras psicológicas completas de Sigmund Freud, vol XII". Imago Editora, Rio de Janeiro, 1969.
- [7] JOHSON, S. "Surpreendente: a televisão e o videogame nos tornam mais inteligentes". Rio de Janeiro: Campus, 2005.
- [8] VYGOTSKY, L. S. "A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores". São Paulo: Martins Fontes, 1998.

Sistemas Dinâmicos e aplicações em circuitos elétricos

Felipe Emanoel Chaves

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
felipe.chaves@inatel.br

Giovani de Almeida Ribeiro

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
giovani.almeida@gee.inatel.br

Pedro Emilio Gória Silva

Instituto Nacional de
Telecomunicações – Inatel
pedrosilva@get.inatel.br

Resumo—O texto apresenta uma breve introdução aos sistemas dinâmicos lineares planares e o estudo de um circuito RLC (em série), utilizando os sistemas planares associados ao modelo. Apresentamos um sistema dinâmico tridimensional não linear obtido da modelagem matemática de um circuito elétrico, denominado circuito de Chua, realizamos algumas simulações do comportamento do circuito, evidenciando uma dependência não contínua do retrato de fase do sistema frente uma variação no valor da capacidade de um certo capacitor do circuito.

Palavras chaves— Equações diferenciais, sistemas dinâmicos, Circuito RLC, Circuito de Chua.

INTRODUÇÃO

Nas aplicações das Equações diferenciais ordinárias em Teoria de circuito existem muitas linhas de pesquisa já contempladas e outras em desenvolvimento, veja [1], [2] e [3]. A teoria qualitativa das equações diferenciais ordinárias, denominada de teoria dos sistemas dinâmicos, tem por objetivo realizar uma análise geométrica do comportamento do sistema, muitas vezes buscando objetos geométricos distinguidos cuja dinâmica é invariante no espaço de fase.

Neste trabalho faremos inicialmente uma breve introdução aos sistemas dinâmicos, apresentando as formas canônicas das matrizes correspondentes aos sistemas lineares planares em torno de suas singularidades, veja [4], e utilizamos o MATLAB para plotarmos os campos de vetores e trajetórias do sistema no plano de fase. Como aplicação estudamos qualitativamente o comportamento de um circuito RLC utilizando a teoria dos campos planares.

Posteriormente, apresentamos um sistema dinâmico não linear, obtido da modelagem de um circuito elétrico denominado “circuito de Chua” [5], tal circuito apresenta um comportamento chamado na literatura de *caos* [3],[6]. Finalizamos o trabalho utilizando software Multisim 11.0 para simular e discutir o comportamento de alguns retratos de fase do sistema dinâmico obtido do circuito de Chua.

II. OBJETIVOS

O texto tem como objetivo introduzir os conceitos básicos dos sistemas dinâmicos lineares planares, utilizar o MATLAB para plotar os campos de vetores e trajetórias desses sistemas no espaço de fase e apresentar um estudo de um circuito RLC (série) utilizando os sistemas planares associados ao modelo. Por fim, discutir os retratos de fase

obtidos na simulação de um circuito não linear, denominado circuito de Chua, feitas utilizando o software Multisim 11.0.

III. SISTEMAS PLANARES

Nesta seção damos uma breve introdução aos sistemas dinâmicos lineares planares, apresentando os seus conceitos básicos, para mais detalhes veja [3].

Definimos por sistema dinâmico um sistema de n equações diferenciais dado por

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = f_1(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) = f_n(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)) \end{cases} \quad (1)$$

Onde

$$X: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n \\ t \mapsto X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{pmatrix} \quad (2)$$

é uma função vetorial diferenciável, e $F(X(t))$ é um campo de vetores suaves. Nesta notação o sistema dinâmico apresentado na equação (1) assume a forma

$$\dot{X} = F(X) \quad (3)$$

Um ponto X_0 é um ponto de equilíbrio do campo F se $F(X_0) = 0$. Denominamos de espaço de fase o espaço gerado pelos vetores $(x_1, 0, \dots, 0), (0, x_2, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, x_n)$. Definimos por retrato de fase a representação geométrica da solução, $X(t)$, do sistema (3) no espaço de fase.

Será apresentado um estudo dos sistemas dinâmicos planares lineares, modelados através de equações diferenciais lineares. De forma generalizada, pode-se escrever um sistema planar da seguinte maneira:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, y) \\ \dot{y} = g(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

O sistema apresentado na equação (4) é linear se $f(x,y)$ e $g(x,y)$ são funções lineares.

Considere $f(x,y) = ax + by$ e $g(x,y) = cx + dy$, onde a,b,c e d são números reais, portanto a transformação do sistema para a forma matricial fica:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (5)$$

Notemos que este sistema possui apenas a origem como ponto de equilíbrio. Para representar o comportamento do sistema no espaço de fase necessita-se apenas dos autovalores e autovetores da matriz $A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$.

A forma canônica da matriz A consiste na representação da matriz utilizando uma matriz que preserva a dinâmica do sistema, porém, com autovetores dados pelos vetores da base canônica do \mathbb{R}^2 .

Os autovalores são determinados pela equação $A - \lambda I_2 = 0$, onde I_2 é a matriz identidade 2×2 e $0 =$

Os autovetores V são determinados pela equação $AV = \lambda_i V$, com $i=1,2$.

Notemos que o polinômio característico da matriz A tem a forma

$$\lambda^2 - (\text{tr} A)\lambda + \det A = 0, \quad (6)$$

onde $\text{tr} A = (a + d)$ é chamado de traço da matriz A e $\det A = (ad - bc)$ de determinante da matriz A .

As raízes do polinômio característico são dadas por

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} (-\text{tr} A \pm \sqrt{(\text{tr} A)^2 - 4 \det A}) \quad (7)$$

A seguir apresentamos as possíveis condições que podemos assumir para os autovalores da matriz A .

A. Autovalores reais distintos

Neste caso a matriz possui a forma canônica dada por

$\begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{pmatrix}$, onde λ_1 e λ_2 são os autovalores distintos da matriz, tendo como autovetores $V_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ e $V_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ respectivamente

A.1. Autovalores reais e distintos ($\lambda_1 < 0 < \lambda_2$)

Neste caso a origem é denominada ponto equilíbrio do tipo sela. O campo de vetores e as trajetórias do sistema no plano de fase são representados nas figuras 1 e 2.

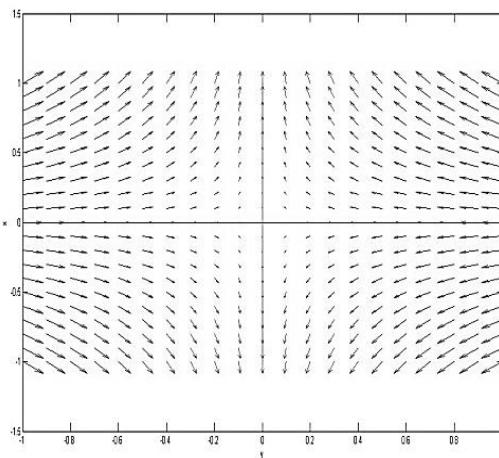


Fig 1. Equilíbrio do tipo sela, campo de vetores.

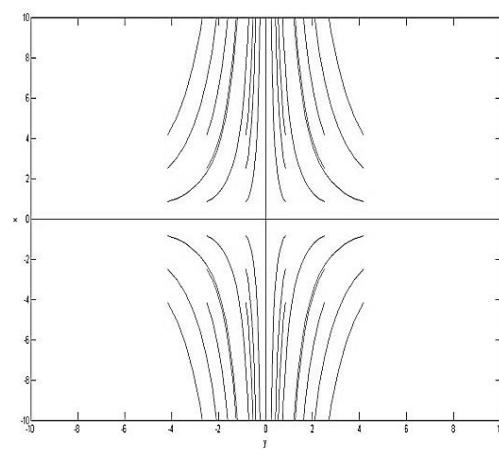


Fig 2. Equilíbrio do tipo sela, trajetórias.

A.2. Autovalores reais distintos e negativos ($\lambda_1 < \lambda_2 < 0$)

Neste caso a origem é um equilíbrio do tipo poço. O campo de vetores e as trajetórias do sistema no plano de fase são representados nas figuras 3 e 4.

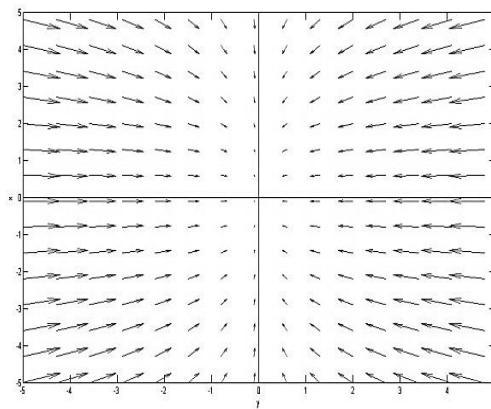


Fig 3. Equilíbrio do tipo poço, campo de vetores.

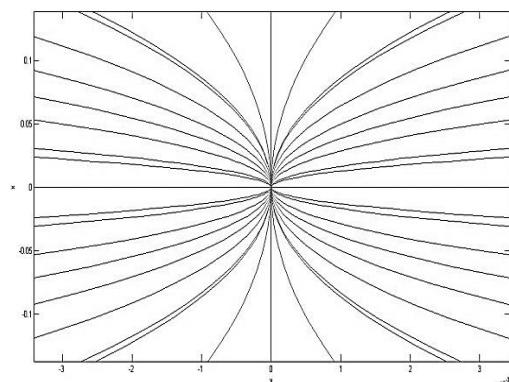


Fig 4. Equilíbrio do tipo poço, trajetórias.

A.3. Autovalores reais distintos e positivos ($0 < \lambda_2 < \lambda_1$)

Neste caso a origem é um equilíbrio do tipo fonte. O campo de vetores e as trajetórias do sistema no plano de fase são representados nas figuras 5 e 6.

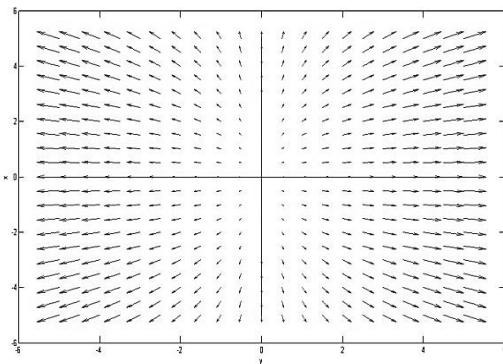


Fig 5. Equilíbrio do tipo fonte, campo de vetores.

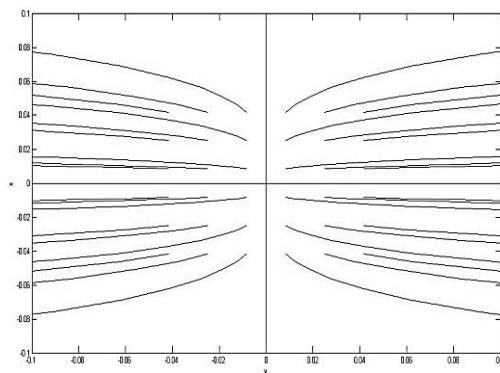


Fig 6. Equilíbrio do tipo fonte, trajetórias.

B. Autovalor imaginário puro ($\tilde{e} = j\alpha$)

Neste caso a origem é um equilíbrio do tipo centro e a matriz possui a forma canônica dada por $\begin{pmatrix} 0 & \alpha \\ -\beta & 0 \end{pmatrix}$, onde $\lambda = \pm\beta$ são os autovalores da matriz que têm como autovetores quaisquer V_1 e V_2 que verifiquem a igualdade $V_2 = jV_1$.

O campo de vetores e as trajetórias do sistema no sistema no plano de fase são representados nas figuras 7 e 8.

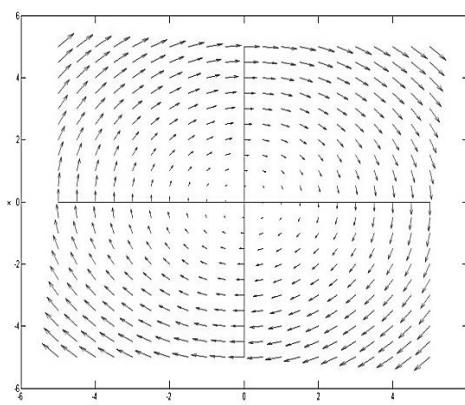


Fig 7. Equilíbrio do tipo centro, campo de vetores.

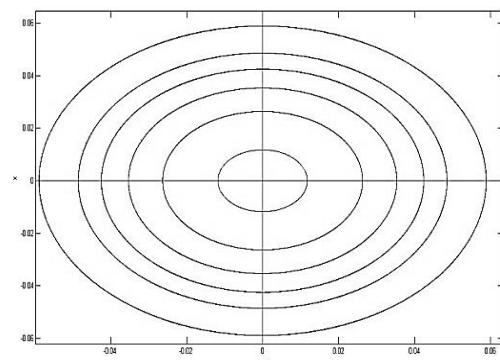


Fig 8. Equilíbrio do tipo centro, trajetórias.

C. Autovalor imaginário ($\tilde{e} = \alpha \pm j\beta$)

Neste caso a origem é um equilíbrio do tipo foco atrator se $\alpha < 0$ ou foco repulsor se $\alpha > 0$, e β determina o sentido de rotação do campo, horário se $\beta > 0$, e anti-horário se $\beta < 0$. A matriz possui a forma canônica dada por

$$\begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ -\beta & \alpha \end{pmatrix}, \text{ onde } \lambda = \alpha \pm \beta \text{ são os autovalores da matriz}$$

tendo como autovetor $V = \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$.

O campo de vetores e as trajetórias do sistema no plano de fase, para o caso onde $\alpha > 0$ e $\beta > 0$, são representados nas figuras 9 e 10.

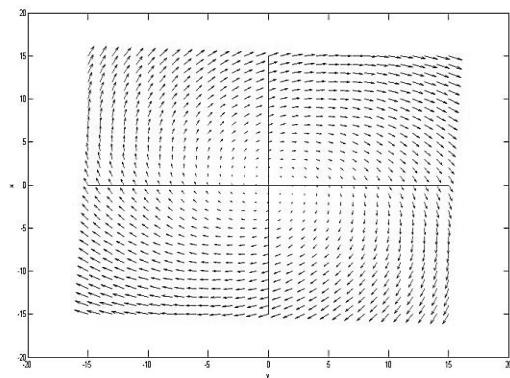


Fig 9. Equilíbrio do tipo foco repulsor, campo de vetores.

Fig

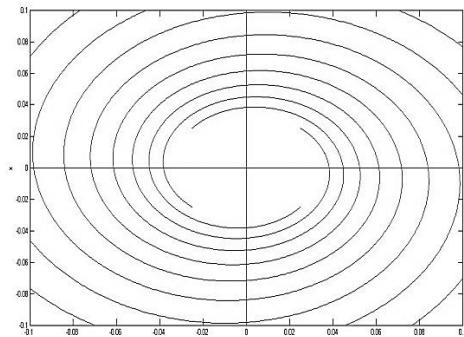


Fig 10. Equilíbrio do tipo foco repulsor, trajetórias.

D. Autovalores reais e repetidos ($\tilde{e}_1 = \tilde{e}_2$)

Neste caso a origem é um ponto de equilíbrio degenerado e não recebe nenhum nome.

D.1. $\lambda_1 = \lambda_2$, com a matriz na sua forma canônica dada por

$\begin{pmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}$, onde λ é o autovalor da matriz tendo como autovetor $V = \begin{pmatrix} v \\ v \end{pmatrix}$, para todo v pertencente aos reais.

A solução desse sistema se apresenta dessa forma:

$$X(t) = C_1 e^{\lambda t} V$$

Não apresentamos o campo de vetores, pois, neste caso, todo vetor $V = \begin{pmatrix} v \\ v \end{pmatrix}$ é um autovetor.

D.2. $\lambda_1 = \lambda_2$, com a matriz na sua forma canônica dada por

$\begin{pmatrix} \lambda & 1 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}$, onde λ é o autovalor da matriz. Para encontrarmos a solução geral temos que recorrer ao sistema:

$$\begin{cases} x' = \lambda x + y \\ y' = -\lambda y \end{cases}$$

Onde a solução para y é: $y(t) = C_2 e^{\lambda t}$ sendo assim, reescrevemos

$$x' = \lambda x + C_2 e^{\lambda t}$$

portanto,

$$x_h = C_1 e^{\lambda t}; \quad x_p = A_1 t e^{\lambda t}; \quad x_g = C_1 e^{\lambda t} + A_1 t e^{\lambda t}$$

Para determinar A basta fazer $x = x_g$ e $x' = x'_g$. Logo:

$$\lambda C_1 e^{\lambda t} + \lambda A_1 t e^{\lambda t} + A_1 e^{\lambda t} = \lambda C_1 e^{\lambda t} + \lambda A_1 t e^{\lambda t} + C_2 e^{\lambda t}$$

Conclui-se que $A_1 = C_2$ e $X(t) = C_1 e^{\lambda t} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + C_2 e^{\lambda t} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

O campo de vetores e as trajetórias do sistema no plano de fase são representados nas figuras abaixo.

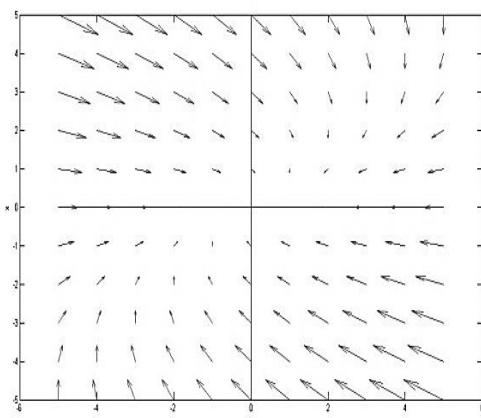


Fig 11. Equilíbrio do tipo degenerado, campo de vetores.

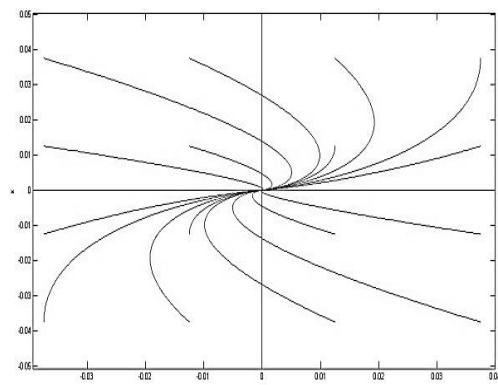


Fig 12. Equilíbrio do tipo degenerado, trajetórias.

IV. MODELAGEM E ESTUDO QUALITATIVO DE UM CIRCUITO RLC

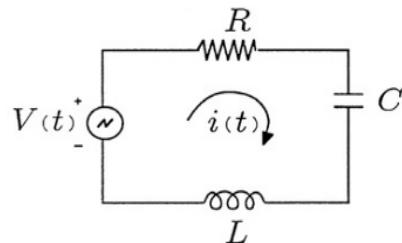


Fig 13. Circuito RLC em série.

Análise com uma tensão de entrada $V(t) = V$ constante, equacionando esse circuito de modo a calcular a corrente, utilizando a Lei da Tensão de Kirchoff temos:

$$V_R + V_L + V_C = V(t) \quad (8)$$

De acordo com os parâmetros de cálculo de resistência, capacitor e indutor:

$$V_R = R i(t); \quad V_L = \frac{1}{c} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau \quad \text{e} \quad V_C = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau, \quad \text{a equação (8) fica:}$$

$$R i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{c} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau = V$$

Dividindo por L e derivando ambos os membros tem-se:

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{LC} i(t) = 0 \quad (9)$$

No desenvolvimento a seguir, por conveniência, omitiremos a dependência temporal. Tomando $\frac{dt}{dt} = s$ na equação (9) temos o sistema planar

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = s \\ \frac{ds}{dt} - \frac{R}{L}s - \frac{1}{LC} \rightarrow \\ \rightarrow \begin{pmatrix} s' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s \\ s \end{pmatrix} \end{cases}$$

Ou seja,

$$X' = AX \quad (10)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{LC} & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \text{ e } X = \begin{pmatrix} v \\ q \end{pmatrix}$$

onde Encontraremos agora os autovalores da matriz A , da equação (6) temos que o polinômio característico associado a matriz A é dado por

$$\lambda^2 + \frac{R}{L}\lambda + \frac{1}{LC} = 0 \quad (11)$$

Sendo assim segue que os autovalores do sistema são dados por

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left(-\frac{R}{L} - \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}} \right) \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left(-\frac{R}{L} + \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}} \right) \quad (13)$$

Notemos que dependendo do valor da expressão

$\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}$, temos que λ_1 e λ_2 podem ser autovalores reais distintos, reais repetidos ou complexos da matriz A .

Caso 1:

$$\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC} > 0 \text{ ou } C > \frac{4L}{R^2}$$

Neste caso temos que λ_1 e λ_2 são autovalores reais distintos. Além disso, visto que $R>0$, $L>0$ e $C>0$, temos que

$$\frac{R}{L} > \sqrt{\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC}}$$

Portanto $\lambda_1 < \lambda_2 < 0$, e a origem é um equilíbrio do tipo poço, veja subseção III.A.1, veja o comportamento geométrico nas figuras 1 e 2.

Caso 2:

$$\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC} = 0 \text{ ou } C = \frac{4L}{R^2}$$

Neste caso temos que $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ são autovalores reais repetidos. Além disso, visto que $R>0$, $L>0$ e $C>0$,

$$\lambda = -\frac{R}{2L} < 0$$

Portanto $\lambda_1 = \lambda_2 < 0$, e a origem é um equilíbrio do tipo degenerado do tipo apresentado na subseção III.D.2., veja o seu comportamento geométrico nas figuras 11 e 12.

Caso 3:

$$\left(\frac{R}{L}\right)^2 - 4\frac{1}{LC} < 0 \text{ ou } C < \frac{4L}{R^2}$$

Neste caso

$$\lambda_1 = \alpha - \beta j, \lambda_2 = \alpha + \beta j, \\ \text{onde } \alpha = -\frac{R}{L} \text{ e } \beta^2 = \frac{4}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2$$

Portanto $\alpha < 0$ e $\beta > 0$, e a origem é um equilíbrio do tipo foco atrator, veja subseção III.C.

V. CIRCUITO DE CHUA

Em 1971, o norte-americano Leon Chua (1936), professor de engenharia elétrica da Universidade da Califórnia em Berkeley (EUA), resolveu investigar a relação entre fluxo magnético e carga elétrica. Em artigo publicado na *IEEE Transactions on Circuits Theory*, ele mostrou que ela levaria a um dispositivo que, apesar de parecido com uma resistência, apresentaria um comportamento muito diferente.

Ele foi desenvolvido com o propósito de simular o comportamento caótico do sistema de Lorenz [7] e, dependendo dos valores dos parâmetros, outros tipos de comportamentos, caóticos ou até periódicos. Porém, resultados comprovaram que alguns dos atratores caóticos encontrados no circuito de Chua não apresentam nenhuma relação com os atratores do sistema de Lorenz.

Ele mostrou que, em vez de ser constante, como nos resistores comuns, a propriedade resultante da relação entre fluxo magnético e carga elétrica teria um comportamento não linear em termos das variáveis tensão e corrente.

Dependendo do modo como se aplicasse a tensão, o dispositivo apresentaria diferentes valores de corrente e, consequentemente, diferentes valores de resistência. Esse comportamento indica que o dispositivo teria memória. Em outras palavras, ele “saberia” que, por determinado caminho, a resistência deveria ser diferente daquela obtida quando a voltagem fosse aplicada de outro modo.

O circuito elétrico da figura 14 é composto por um resistor, um indutor real, dois capacitores e um elemento não linear ativo que recebe o nome de diodo de chua. O resistor, indutor e capacitor são componentes passivos, ou seja, não necessitam de fonte de energia para desempenhar as funções pretendidas. O funcionamento do circuito envolve ainda quatro variáveis fundamentais: carga elétrica (q), corrente elétrica (i), tensão (v) e fluxo magnético (Φ).

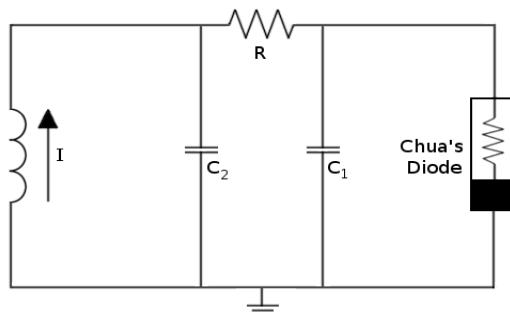


Fig 14. Circuito de Chua.

A. Modelo e Simulações

O modelo matemático do circuito é dado pelo sistema dinâmico tridimensional não linear apresentado abaixo

$$\begin{cases} \dot{x}' = \frac{y - x}{RC_1} - \frac{i_d(x)}{C_1} \\ \dot{y}' = \frac{x - y}{RC_2} + \frac{z}{C_2} \\ \dot{z}' = \left(-\frac{y}{L} \right) - z \left(\frac{R}{L} \right) \end{cases}$$

Onde $i_d(x)$ é a corrente pelo diodo de Chua, veja [8].

Não estudaremos qualitativamente este sistema devido seu alto grau de complexidade. Devido sua alta sensibilidade com relação as condições iniciais, o sistema é apresentado na literatura como um sistema caótico [6].

Simulamos algumas situações para o circuito apresentado na figura 15, tomando pequenas alterações no valor capacitânciia do capacitor 2 será possível observar drásticas mudanças no seu retrato de fase.

O circuito da figura 15 foi feito utilizando o software Multisim 11.0 e nele está apresentado um circuito de chua com o diodo de chua representado por um amplificador operacional LMC6482AIN que funciona como um conversor de impedância negativa. O indutor e os dois capacitores são componentes utilizados para armazenar energia e o resistor é usado para reduzir o fluxo de corrente.

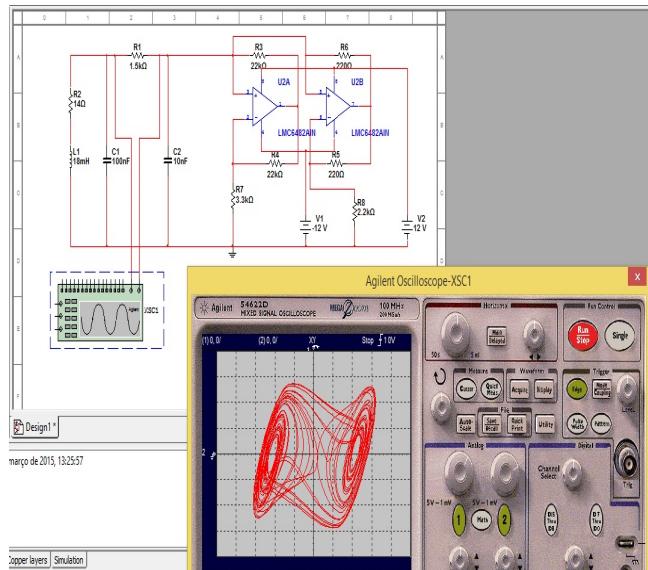


Fig 15. Simulação do circuito de Chua utilizando amplificadores operacionais, $C_2 = 10nF$.

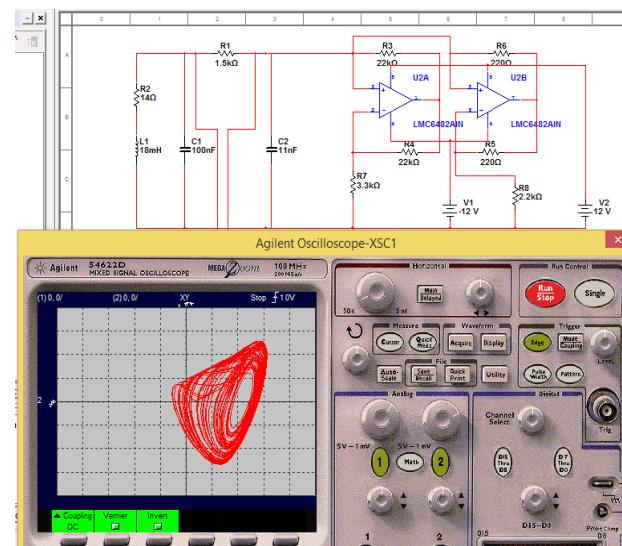


Fig 16. Alterando C_2 para $11nF$.

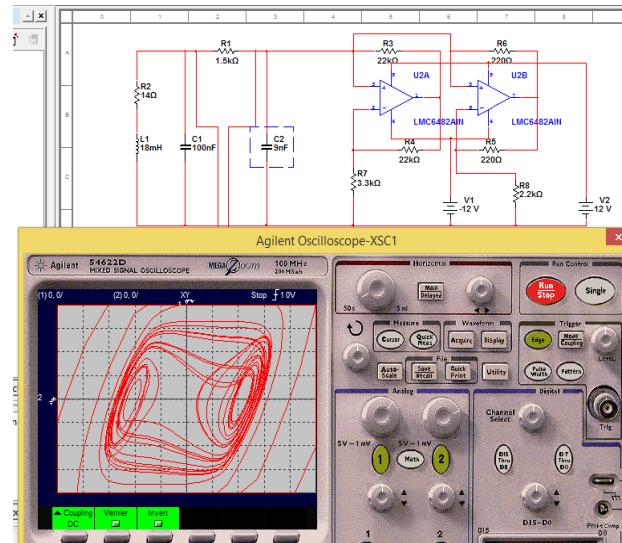


Fig 17. Alterando C_2 para $9nF$.

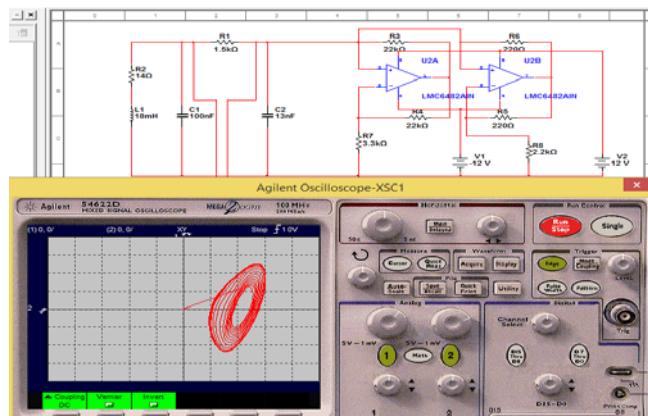


Fig 18. Alterando C_2 para $13nF$.

Os resultados das simulações comprovam que variando a capacitânciia de C_2 , o retrato de fase medido em cima de R_1 adquire formas totalmente diferentes, ou seja, muda totalmente as características da dinâmica do circuito no

espaço de fase. Note que para 10nF o retrato de fase apresenta dois atratores estranhos em uma região limitada, se alterarmos C_2 para 9nF os dois estranhos atratores já não se encontram em uma região limitada do espaço de fase, quando C_2 passa para 11nF, 13nF, temos apenas um atrator.

Como trabalho futuro, pretendemos aprofundar nos estudos dos sistemas dinâmicos com o objetivo de obtermos o conhecimento necessário para a modelagem e descrição matemática do circuito de Chua aqui simulado.

REFERÊNCIAS

- [1] A. F. Neves, D. G. de Figueiredo, “*Equações Diferenciais Aplicadas*,” Coleção Matemática Universitária, 3ed, 2014.
- [2] A. A. Andronov, A. A. Vitt, S. E. Khaikin, “*Theory of oscillators*,” Dover, New York, 1996
- [3] S. Lynch, “*Dynamical Systems with Applications using Mathematica*,” New York: Springer-Verlag, 2007.
- [4] M. W. Hirsch, S. Smale, R. L. Devanay, “*Differential equations, dynamical systems and an introduction to chaos*,” 2ed, Elsevier, 2004.
- [5] T. Matsumoto, L. O Chua, S. Tanaka, “*Simplest chaotic nonautonomous circuit*,” Physical Review A, vol. 30, 1984, pp. 1155-1157.
- [6] T. Matsumoto, L. O Chua, S. Tanaka, “*A chaotic attractor from chua's circuit*,” IEEE Transaction on Circuits and System, vol. 31, 1984, pp. 1055-1058.
- [7] E. N. Lorenz, “*Deterministic nonperiodic Flow*,” Journal of the Atmospheric Sciences, vol. 20, 1963, pp. 130-141.
- [8] E. R. V. Junior, “*Espaços de Parâmetros para um Circuito Caótico Experimental*,” Dissertação de Mestrado, Departamento de Física - ICEx , UFMG, 2010.

Ferramentas computacionais para Cálculo Numérico

Larissa de Cassia Guimarães

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
larissaguimaraes@gea.inatel.br

Gabriel Eduardo Silva Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gabrieleduardo@get.inatel.br

Karine Bueno da Silveira

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
karinebueno@geb.inatel.br

Renan Ralpe Sthel Duque

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
renan.duque@inatel.br

Resumo — Este artigo contém informações sobre a Iniciação Científica com explicações sobre a produção da pesquisa: “Desenvolvimento de ferramentas computacionais para Cálculo Numérico”. Também há detalhe sobre a programação de um dos métodos numéricos desenvolvidos nos softwares Matlab e Dev C++.

Palavras chave—Cálculo Numérico, Matlab, C++.

I. INTRODUÇÃO

O Cálculo Numérico permite processos que solucionam questões matemáticas e físicas por meio da aritmética, e esse processo só é possível por métodos repetitivos, conhecidos como métodos numéricos para soluções aproximadas. Para facilitar esse processo de repetição e ter resultados mais próximos das referências esperadas, é necessário o uso de softwares que possibilitam a programação de um modelo matemático, tais como os softwares Matlab e Dev C++.

II. DESENVOLVIMENTO

Toda a Iniciação Científica teve como parâmetro a disciplina de Cálculo Numérico, sendo assim a pesquisa foi realizada com os principais métodos numéricos, os quais qualquer engenheiro, matemático e estudante de engenharia e matemática devem saber. Esses métodos são: “Método da Bissecção”, “Método de Newton-Raphson”, “Eliminação Gaussiana”, “Pivotamento”, “Método Iterativo de Gauss-Seidel”, “Método dos Mínimos Quadrados”, “Ajuste Linear e Polinomial”, “Método dos Trapézios”, “Método de Simpson”, e “Método de Lagrange”.

Para que os algoritmos tivessem uma interface limpa e clara com o usuário, às programações foram submetidas a várias críticas de dados. Também um processo de explicação da aplicação do método em cada programa, o qual segue exemplificado na próxima seção.

III. EXEMPLO

A. Método do Trapézio:

O Método do Trapézio foi desenvolvido no software MatLab, por este software conter uma função de integração e derivação. O usuário deve entrar com a função a ser integrada ($f(x)$), com os intervalos integração e com o número de subintervalos. Para obter a derivada de segunda dessa função usa-se duas vezes o comando `diff(f(x))`.

Nesse caso para calcular a amplitude h , é necessário usar a função `max(x)` para pegar o maior valor do vetor e `min(x)` para pegar o menor valor do vetor. Deve-se dividir o intervalo de integração (a,b) em n partes iguais, sendo a amplitude h de cada intervalo igual a:

$$h = (b-a) / n \quad (1)$$

Depois se usa a função `numel(f(x))` para determinar o tamanho do vetor, pois com estes valores calcula-se a integral do polinômio interpolador usando o comando `int(f(x))`. Para encontrar o erro de truncamento, é necessário que o maior valor da derivada de segunda ordem seja multiplicado pelo maior intervalor de integração subtraído do menor intervalo de integração, esse resultado deve ser elevado ao cubo e depois dividido por doze vezes o número de subintervalo ao quadrado. Sendo assim, a soma das áreas dos trapézios resultará em uma aproximação da integral definida entre a e b . Quanto maior o valor de n , isto é, o número de trapézios, melhor será a aproximação do valor da integral calculada.

Essa programação executada no MatLab, permite ao usuário uma resposta mais rápida e com valores mais próximos do esperado, pois ele pode escolher um menor erro de truncamento e assim obter uma resposta até que esse erro seja atingido.

IV. CONCLUSÕES

Todos os métodos numéricos que foram citados neste artigo passaram por um processo com o exemplo aqui citado também. E todos os métodos foram programados no software em que melhor foram adaptados de acordo com as características dos métodos numéricos e comando dos softwares.

V. REFERÊNCIAS

- [1] Cálculo Numérico: com aplicações – Lêonidas Conceição Barroso, Magali Maria de Araújo Barroso, Frederico Ferreira Campos Filho, Mácio Luiz Bunte de Carvalho, Miriam Lourenço Maia.
- [2] Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais – Márcia A. Gomes Ruggiero e Vera Lúcia da Rocha Lopes.
- [3] Cálculo Numérico: Características Matemáticas e Computacionais dos Métodos Numéricos – Décio Sperandio, João Teixeira Mendes, Luiz Henry Monken e Silva.
- [4] Algoritmos: Teoria e Prática – Tomas H. Cormen.
- [5] MatLab 6: Curso Completo – Bruce Littlefield, Dunce Hanselman