

Financiamento



Execução



## Metodologia para revestimento robótico de turbinas in situ

### Relatório de viagem

CITENEL, Costa do Sauípe, BA

16 a 19 de Agosto de 2015

# 1 Identificação

Título ..... : EMMA - Metodologia para revestimento robótico de turbinas *in situ*

Proponente .... : Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)  
Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos  
(COPPETEC)

Contratante .... : ESBR - Energia Sustentável do Brasil S.A.

Execução ..... : Grupo de Simulação e Controle em Automação e Robótica (GSCAR)

Contrato ..... : Jirau 09-15

P&D ANEEL ... : 6631-0003/2015

Início ..... : 26/02/2015

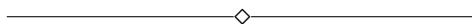
Prazo ..... : 14 meses

Orçamento .... : R\$ 2.487.473,47

Coordenador .. : Ramon Romankevicius Costa

Gerente ..... : Breno Bellinati de Carvalho

Os engenheiros Renan Salles de Freitas e Eduardo Elael de Melo Soares participaram do congresso e são responsáveis pela elaboração deste relatório técnico.



## 2 Sobre a visita

Foram quatro dias de viagem à Costa do Sauípe, onde foi realizado o congresso CITENEL e SEENEL:

Dia 16/08/2015:

- Viagem e acomodação;
- Credenciamento no evento e planejamento de palestras técnicas;

Dia 17/08/2015:

- Cerimônia de abertura e lançamento de revistas P&D e EE da ANEEL;
- Palestra Magna - Prof. José Sidnei Colombo;
- Sessões técnicas;

Dia 18/08/2015:

- Sessões técnicas;

Dia 19/08/2015:

- Sessões técnicas;
- Viagem de volta;

## 3 Considerações gerais

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) entregou ao público a oitava edição do Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (CITENEL) e a quarta edição do Seminário de Eficiência Energética no Setor Elétrico (SEENEL), realizados na Costa do Sauípe, Bahia, durante os dias 17, 18 e 19 de Agosto de 2015. O objetivo é ampliar a divulgação dos resultados alcançados nos programas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e de Eficiência Energética (EE) regulados pela ANEEL.

A cerimônia de abertura e a palestra Magna abordaram os temas de inovação e eficiência para o setor elétrico brasileiro, a importância da prática de sustentabilidade, a preocupação com segurança do trabalho e primeiros socorros, figura 1.

As sessões técnicas abordaram os seguintes temas: 1) redes inteligentes; 2) planejamento de sistemas de energia elétrica; 3) geração termelétrica; 4) eficiência energética; 5) fontes alternativas de geração de energia elétrica; 6) supervisão, controle e proteção de sistemas de energia



Figura 1: Palestra de abertura.

elétrica; 7) novos materiais; 8) baixa renda; 9) qualidade e confiabilidade dos serviços de energia elétrica; 10) medição, faturamento e combate a perdas comerciais; 11) operação de sistemas de energia elétrica; 12) meio ambiente; 13) fontes alternativas de geração de energia elétrica; comércio e serviços/industrial/fontes incentivadas de energia elétrica; 14) educacional / residencial / iluminação pública; 15) poder público; 16) segurança; 17) serviço público.

As sessões técnicas ocorriam concomitantemente, portanto foi elaborada uma metodologia para selecionar as palestras de maior interesse para o grupo.

## 4 Planejamento de sessões técnicas

O planejamento de sessões técnicas é a metodologia criada para a seleção das vinte palestras técnicas com maior interesse para o grupo. Como o congresso forneceu, durante o credenciamento, todos os artigos que seriam apresentados, foi possível selecioná-los pelo conteúdo e resultados. O grupo selecionou os artigos que se distinguiram pela inovação tecnológica relacionados à robótica, sensores, e sistemas que integram hardware e software no estado da arte.

Cada sessão possui 15 minutos de apresentação e 5 minutos para perguntas.

## 5 Sessões técnicas

Nesta seção, são apresentadas as principais características e aspectos técnicos que o grupo identificou em cada sessão. As seguintes sessões técnicas foram presenciadas:

### **Desenvolvimento de veículo dubaquático para inspeção de usinas hidrelétricas:**

Desenvolvimento de um ROV de dimensões 400x400x600 mm de fibra de vidro com câmeras e SONAR, e um sistema de navegação com algoritmo de Monte Carlo e validação com câmera de alta precisão. O robô assemelha-se muito ao ROV da empresa Seabotix em sua composição mecânica, designer, sensores e distribuição de atuadores. Como o investimento não foi alto, os atuadores não são comerciais, mas sim projetados em Solidworks (mecânica) e Proteus (eletrônica), e montados pela própria USP, sendo capaz de suportar correntezas de 2 m/s. O robô foi testado em usinas hidrelétricas e foram observado ruídos eletromagnéticos na transmissão de imagens, sendo este o desafio para a continuação do projeto.

### **Robô de Inspeção de Linha -D311 :**

O palestrante apresentou o desenvolvimento de um robô biomimético para inspeção em linhas de transmissão de até 138kV. Possui sua estrutura inspirada em uma lagarta de forma a ser capaz de atravessar obstáculos que apareçam.

O projeto foi feito com sua interface em ROS que é um framework livre. O palestrante também ressaltou que o robô possuía avanços com relação a sua versão anterior, como uma redução de 9kg pelo uso de titânio aeronáutico e formas ovais para os elos, que minimizaram o ruído eletromagnético.

Durante a sessão de perguntas o palestrante concluiu, explicando que a autonomia do robô deverá ser expantida pelo uso de indução magnética, colhendo a energia que passa pelo fio. Atualmente ele foi desenvolvido para ser introduzido nos pontos de ancoragem de linha, porém o projeto para um robô de resgate já foi desenvolvido pelo mesmo laboratório.

### **Estratégias para redução da temeperatura de operação de módulos fotovoltaicos:**

Estudo de tecnologias de redução da temperatura em módulos fotovoltaicos. Foram estudados sistemas ativos, como ventilação forçada, e sistemas passivos, como aletas (material de alumínio mais comum para resfriamento) e materiais de mudança de fase (parafina). As diversas tecnologias foram simuladas em MatLab, utilizando o modelo de Martin K. Fuentes. As aletas se mostraram como a melhor tecnologia, principalmente pelo motivo de que as soluções ativas requerem energia, que foi considerada no cálculo da eficiência;

### **Desenvolvimento de Novos Coletores Solares de Condicionamento de Ar e Refrigeração :**

O mercado crescente de ar condicionado propiciou um ambiente favoravel para o aprimo-

ramento de sistemas de condicionamento solares. A tecnologia de ar condicionado solar foi dividido em duas, os de absorção e adsorção. Além deles, existem os sistemas solares desseccantes que desumidificam o ar, atuando, assim, pelo uso do calor latente da água. O desenvolvimento do ar condicionado solar exposto na paleta foi pautado em simulações de volumes finitos feitos no software Ansys CFX, com criação de malhas através dos métodos *sweep*, *thin sweep* e *inflation*. O sistema atingiu 74% de eficiência na simulação, ficando ligeiramente abaixo no protótipo real.

### **Sistema eletrônico de captação e direcionamento de iluminação natural para edificações utilizando fibras ópticas - girassol eletrônico:**

A motivação para a pesquisa é a baixa eficiência (5%) de painéis FV e a utilização da luz natural como luz para a estação de trabalho (escritório). O sistema tem um mecanismo que rastreia o sol com um sistema Pan e Tilt e três sensores de luz. A fibra óptica transmite a luz solar até o ambiente de trabalho e promete eficiência de 20 a 30%. Foram encontrados problemas em relação ao aquecimento da fibra e duas soluções foram abordadas: solução óptica com filtros UV e IR; e dissipador por um sistema de refrigeração com água. O último mostrou-se mais eficiente, porém o rendimento atual observado é 5.92% para 5 m de fibra óptica.

### **Sistema de Reaproveitamento de Calor para Utilização em Banhos, Funcionamento, Resultados e Comprovação Pro Medição e Verificação :**

O palestra girou em torno de resultados coletados em Curitiba, onde foram instalados em diversos clientes o sistema de reaproveitamento de calor.

O sistema consistia de uma serpentina instalada sob chão do box, visando fazer fazer que a água que cai do chuveiro es quente a serpentina ao entrar em contato com o chão. Foi medido um ganho de 15°C à 20°C na saída do chuveiro pelo uso da realimentação de calor, facilitando atingir o valor de conforto no banho de 39°C. A serpentina é feita de alumínio, mas versões mais modernas estão empregando INOX para aumentar a durabilidade.

### **Equipamento com reconhecimento dinâmico de imagem para avaliação de medidores de energia elétrica em campo:**

Apresentação de um equipamento medidor de consumo de energia elétrica, cujo desenvolvimento teve duas motivações principais: verificar irregularidades na rede elétrica, como erro de medição e precisão do medidor, e furto de rede elétrica, conhecido popularmente como “gato”. A principal característica do dispositivo é sua facilidade de instalação, que pode ser realizada mesmo com o medidor em funcionamento. São necessárias medidas de tensão, corrente e o acoplamento de uma câmera, que filma o display de medidores digitais e tem um algoritmo de reconhecimento para captação do giro do disco em equipamentos analógicos.

### **Visão computacional para monitoramento ambiental das áreas cobertas por linhas de transmissão utilizando reconhecimento de padrões:**

O projeto consiste em um sistema formado por uma base e uma câmera fixa que utiliza



técnicas de reconhecimento de padrões para identificar focos de incêndio no meio ambiente. O sistema faz análise de movimento, cor e persistência de fumaças. O algoritmo é capaz de diferenciar fumaças de núvens pela rapidez de movimento e gradiente de cor, mesmo utilizando câmeras de baixa resolução. Um desafio técnico é a névoa, que pode atrapalhar o algoritmo de identificação, portanto há um mecanismo de validação por usuários, já que os resultados são disponibilizados online para todo o público, e um sistema automático de aprendizado para refinar a técnica.

### **Rede de Sensores Passivos para Medição de Integridade de Equipamentos em Sistemas de Energia com Transmissão sem Fio :**

A rede de sensores foi utilizada para medir temperatura de disjuntores e buchas, porém poderiam ter sido utilizados outros sensores. Os sensores eram baseados em tecnologia SAW (Surface Acoustic Wave) constituído por um cristal piezoelétrico que gera uma resposta final similar ao RFID.

A rede foi contruída sobre um protocolo ZigBee para compatibilizar o baixo consumo como resiliência, visto que ZigBee suporta *full mesh*. Os roteadores ZigBee possuíam capacidade de transmitir ao nó central em RS232 ou fibra ótica, onde foi escolhido a ultima devido a problemas com interferência eletromagnética.

O desafio técnico enfrentado foi a criação de um hardware baseado em FPGA para sincronizar a resposta dos sensores e evitar colisões que degradassem a comunicação. Além dos sensores de temperatura, ao final, o palestrante também comentou o uso de sensores de deformação.

### **Proposta de Desenvolvimento de um Robô para Inspeção Visual de Linha de Distribuição:**

Foi descrito um robô de três rodas que anda sobre as linhas de distribuição fazendo inspeção das mesmas. Possui um peso de apenas 3 kg e rodas compostas de fibras de latex para passar por cima de obstáculos de até 30cm, como isoladores. Os motores das rodas são controlados por wifi e o processamento é feito centralizado em uma delas.

A análise da imagem é feita pela própria eletrônica embarcada e seu controle pode ser tanto autônomo quanto através de um joystick. Futuramente, sua atual autonomia de 3h deve ser expandida pelo uso de um sistema de indução magnética.

### **Sistema de supervisão e controle para geração distribuída com armazenamento de energia e veículos elétricos :**

A paleta expôs um protótipo avançado de um sistema de gerenciamento de energia. O sistema era composto por: Um conjunto de células fotovoltaicas, um banco de baterias, um ponto de alimentação para carro elétrico e um acesso à rede elétrica, além do sistema de controle feito por um PC104 implementando protocolo Modbus sobre IP para comunicação com os diversos outros componentes do sistema. No sistema o carro elétrico possuía identificação RFID para simular o que seria contabilizado e enviado direto para a conta do usuário. Todos os detalhes

do sistema e do consumo eram acessíveis por uma interface web também desenvolvida pelos pesquisadores.

### **Segurança Cibernética em Smart Metering :**

O palestra ministrada por um funcionário de Inmetro destacou as dificuldades de se avaliar os novos sensores, onde, além do hardware que faz a medida, existe, por trás, um software que pode influenciar no valor que é medido.

Dentre as tecnologias exploradas para a validação do software e posterior auditoria, foram destacadas as seguintes: *Charles Response*, Ofuscação de Código, FingerPrinting (geração de marcas d'água no software) e Rastreabilidade, que é a técnica de conferir a relação entre o código fonte aprovado e o binário implementado, sendo, em geral, feita através de marcadores.

Ao final, o palestrante citou que está sendo estudado um hardware, baseado em tecnologia ARM, referido como “Chip Inmetro”, que servirá para implementar todas as medidas de segurança instituídas pelo Inmetro. Facilitando tanto a validação do Inmetro, quanto a implementação por parte do fabricante, figura 2.



Figura 2: Ilustração da palestra Segurança Cibernética em Smart Metering.



### Produção de Lote Pioneiro de Sensor Inteligente:

Foram apresentados sensores de voltagem e corrente para linhas de transmissão que podem tanto ser alimentados pela rede secundária 220V ou por painel solar (100mW) caso esta não esteja disponível. Cada sensor consome 14mW e se comunica por GPRS, onde seus dados são exibidos em um software com indicação para cada local instalado. A instalação de cada sensor consome entorno de 40min. A análise do impacto do primeiro lote no tempo de resposta da operadora da rede em caso de avarias na rede se mostrou muito mais curto, com reduções de até 1h ou 2h, figura 3.



Figura 3: Ilustração da palestra Produção de Lote Pioneiro de Sensor Inteligente

### Instalação de Gerador Solar Fotovoltaico na Aeronáutica Conectado à Rede Elétrica do Sistema Isolado de Fernando de Noronha:

A ilha de Fernando de Noronha possuía para seu abastecimento energético apenas uma usina a diesel de 2MW e, por possuir capacidade de estocagem limitada, está sempre dependendo do alto tráfego de embarcações para manter a usina abastecida.

Ao custo de um investimento de R\$3,9 milhões foi instalada, na base da Aeronáutica, uma

usina fotovoltaica de 402,78kW. Esta é responsável, agora, por 5% da energia consumida na ilha, chegando ao pico de 20% do consumo instantâneo da ilha por volta de meio dia. Com uma geração anual de 620kWh, a usina fotovoltaica supre 70% da demanda energética da Aeronáutica e o restante é distribuído pela rede, sem armazenagem. Todo esse equipamento recebe manutenção a cada 15 dias devido à alta concentração de sal no ambiente.

#### **Desenvolvimento de sistema robótico para inspeção visual de chaminés e caldeiras em usina termelétrica:**

Desenvolvimento de um robô escalador de 20 kg com esteiras e rodas para locomoção e adesão por ímã permanente (magnetismo). A aplicação é inspeção de caldeiras, espaço confinado com obstáculos, temperatura de até 80°C, e paredes com tubos horizontais. As esteiras são protegidas com resina para não danificar a caldeira e os tubos aletados. O robô possui iluminação, câmeras HD para navegação, e sensores de infravermelho para medir distâncias. O robô é operado remotamente por WiFi e sua energia é fornecida através de umbilical. O grande desafio técnico foi o desenvolvimento das esteiras e acoplamento dos ímãs. A continuação do projeto prevê a utilização de sistemas de ultrassom.

#### **Sistema de aeronaves não tripuladas multiplataforma de longo alcance para inspeção de linhas de transmissão:**

Realizado por um grupo do ITA, este trabalho gerou 15 dissertações de mestrado, 10 teses de doutorado e 15 trabalhos de conclusão de curso, 12 artigos internacionais e 12 artigos nacionais. O projeto consiste em dois veículos aéreos não tripulados (VANTs) com autonomia de 3h a 4h, 25 kg a 50 kg de massa, e 7 kg a 14 kg de carga (*payload*). O VANT é catapultado e um piloto é responsável por guiá-lo remotamente. O VANT sobrevoa próximo à linha de transmissão de energia elétrica para inspeção. Foi realizado estudo de interferência eletromagnética da linha nos diversos sensores que compõe o VANT e é feita uma análise de zona ótima para o voo, considerando a zona de exclusão devido à interferência e possibilidade de colisão, e distância mínima necessária para inspeção por câmeras. A tecnologia por hélices (Drones) mostraram resultados ruins devido à autonomia de apenas 15 minutos. A comunicação entre o VANT e o piloto foi amplificada por um balão, e esse sistema de retransmissão foi um grande avanço técnico com pedido de patente.

#### **Concepção de um sistema para organização e processamento de imagens multiespectrais, multitemporais e georeferenciadas de reservatórios para monitoramento de bordas:**

Sistema de comparação de imagens amostradas em diferentes épocas, meses ou anos, para monitoramento de reservatórios. O sistema é capaz de classificar pixels da imagem em estruturas, construções, e outras formas. As imagens são adquiridas via satélite, o que exige certo investimento, e o custo pode chegar a R\$100.000,00 para duas a três coletas de imagem de média resolução por ano, sendo que o comum é realizar aquisição a cada 2 meses, logo o monitoramento não é em tempo real. O armazenamento das imagens é realizado em PostgreSQL e a implementação do sistema é feita em PyQGIS (python). O desafio técnico consiste, principa-

mente, na correção de angulação da imagem de satélite, a projeção linear, e a manipulação de matrizes (imagem) para a diferenciação e classificação.

## 6 Conclusões

A participação no congresso se mostrou enriquecedora não apenas pelas palestras interessantes das quais participamos, mas também pelo networking e troca de idéias com pessoas que enfrentam problemas semelhantes aos nossos. A dinâmica de troca de salas e duração das palestras se mostrou excessivamente rápida, mas não prejudicou nossa participação no evento.