

**Anais do
XLIII International Sodebras Congress
Web Conference 19 a 21 de novembro de 2020**



Solutions for the Development of the Countries

Atendimento:
congresso@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>

CONSTRUÇÕES GEOMÉTRICAS PARA O ENSINO DE GEOMETRIA NA 1^a SÉRIE DO ENSINO MÉDIO

GEOMETRIC CONSTRUCTIONS TO TEACHING OF GEOMETRY IN THE 1st GRADE OF HIGH SCHOOL

CLÁUDIA MARA DE OLIVEIRA BELÔNIA VIEIRA¹; JOCCITIEL DIAS DA SILVA²

1 – FACULDADE VALE DO CRICARÉ 1; 2 – FACULDADE VALE DO CRICARÉ

claudia.belonia@hotmail.com; joccitiel@gmail.com

Resumo – *O desempenho dos alunos brasileiros em matemática no PISA 2018 revela a ineeficácia do ensino e a necessidade de busca por iniciativas didáticas que possibilitem a atenuação desses resultados. A presente pesquisa, de caráter qualitativo, buscou analisar a aprendizagem de alunos da 1^a série do Ensino Médio em geometria espacial, por meio de uma proposta didática diferenciada sobre construções geométricas com ênfase no lúdico. Com suporte teórico na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e da aprendizagem matemática crítica significativa, a intervenção didática propiciou ao aluno a associação entre o conhecimento adquirido em sala de aula e sua aplicabilidade no cotidiano. Posteriormente, foi produzido um blog de modo a auxiliar professores em sua aplicação. A análise dos resultados revelou o potencial significativo da sequência didática na promoção da aprendizagem significativa.*

Palavras-chave: Aprendizagem Matemática Crítica Significativa. Geometria Espacial. Lúdicode. Sequência Didática.

Abstract - *The performance of Brazilian students in mathematics at PISA 2018 reveals the ineffectiveness of teaching and the need to search for didactic initiatives that make it possible to mitigate these results. The present research, of qualitative character, sought to analyze the learning of students of the 1st grade of High School in spatial geometry, through a different didactic proposal on geometric constructions with emphasis on the ludic. With theoretical support in Ausubel's theory of significant learning and critical mathematical learning, the didactic intervention provided the student with an association between the knowledge acquired in the classroom and its applicability in everyday life. Subsequently, a blog was produced in order to assist teachers in its application. The analysis of the results revealed the significant potential of the didactic sequence in promoting meaningful learning.*

Keywords: Meaningful Critical Mathematical Learning. Spatial geometry. Playfulness. Following teaching.

I. INTRODUÇÃO

Alencar e Viana (2011) apontam a má remuneração de professores, a falta de investimento em infraestrutura física e material, os turnos escolares reduzidos, a carência de mão de obra e de formação continuada para os docentes como alguns dos fatores relevantes para a acentuação da crise no

ensino de matemática. Druck (2003) destaca que a baixa qualidade do ensino básico brasileiro, em especial nas escolas públicas, é resultado de décadas de sucateamento na educação e que isso afeta não somente o ensino de matemática nas escolas, mas a própria formação de professores em cursos de Licenciatura, refletindo diretamente na prática docente e na deficiência dos conteúdos abordados no ensino médio.

O baixo rendimento dos alunos no Programa Internacional de Avaliação de Estudantes, o PISA, demonstra não somente a defasagem em conceitos matemáticos, mas também que o ensino de matemática se encontra em crise (ALENCAR; VIANA, 2011), sendo necessária uma reflexão sobre suas causas e como enfrentá-las para melhorar a formação cidadã dos alunos.

É fundamental que o docente busque novas estratégias e métodos de ensino que possibilitem uma aprendizagem crítica e efetiva para desempenhar com qualidade o seu papel formador, particularmente, em matemática. Por essa razão, a abordagem com ênfase no lúdico emerge como uma possibilidade didática a ser explorada no ensino de Geometria, podendo facilitar a predisposição do aluno a aprender de maneira prazerosa e levando-o a descobrir que a aplicabilidade dos conceitos adquiridos em sala de aula em seu cotidiano propicia melhoria no seu desempenho escolar e contribui com a formação cidadã.

Diante desta problemática, levanta-se a seguinte questão: De que maneira uma sequência didática utilizando construções geométricas com ênfase no ensino lúdico, pode facilitar a aprendizagem de geometria para a 1^a Série do Ensino Médio?

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel destaca o processo pelo qual o indivíduo apreende a partir da interação entre o conhecimento preexistente em sua estrutura cognitiva com novas informações, caracterizando uma relação não arbitrária e substantiva (LEMOS, 2006). Sua teoria prioriza a aprendizagem de conceitos da ciência através da valorização dos conhecimentos prévios dos alunos. Sendo assim, a não-arbitrariedade é a relação de um material potencialmente significativo com o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aluno.

Ausubel denomina como subsunções as concepções prévias dos sujeitos da aprendizagem. Eles funcionam como pontos de ancoragem de informação, fundamentando a inserção e aprendizagem de novas informações de maneira significativa (MOREIRA, 2011).

Em minha experiência como professora, nas aulas tradicionais, a postura passiva dos sujeitos da aprendizagem muito diz respeito à educação acrítica, em que não havia nenhum tipo de reflexão. A aprendizagem ficava reduzida à passividade e à reprodução, ocorrendo de forma mecânica, resultado de um ensino que não priorizava o aluno como centro da aprendizagem e não valorizava o que o mesmo já possuía em sua estrutura cognitiva, um dos princípios fundamentais da Teoria da Aprendizagem Significativa. Sendo assim, pensou-se em tornar o ensino de geometria mais concreto e significativo, contando com maior participação dos educandos, estimulando sua aprendizagem, adequando a aplicabilidade dos conteúdos ao seu cotidiano e despertando a curiosidade em conhecer as formas tridimensionais, de modo a envolvê-los na construção do seu processo ensino-aprendizagem.

Segundo Ausubel, as condições necessárias para a ocorrência da aprendizagem significativa são: conhecimento prévio, material com potencial significativo e a predisposição do aluno para aprender.

“À medida que o novo conhecimento adquire significados por interação com o conhecimento prévio este se modifica, porque adquire novos significados” (MOREIRA, 2009b, p. 34). Quando este processo ocorre uma ou diversas vezes, há a diferenciação progressiva do conceito ou proposição. A diferenciação progressiva é caracterizada na apresentação de ideias mais gerais e mais inclusivas para, em seguida, de forma progressiva, sejam diferenciadas (POZO, 1998).

É imprescindível que o professor apresente os conteúdos de forma mais generalizada para desenvolver suas especificidades ao longo de suas aulas, diferenciando os conceitos de forma gradual. Isso faz com que o aluno possa desenvolver o seu raciocínio de generalização a partir de exemplos mais simples para os mais complexos. Sendo assim, ao se pensar na aprendizagem de conceitos pelos discentes, é fundamental que o professor colete as concepções prévias dos alunos e trabalhe os conteúdos de modo que haja conexão entre o novo conhecimento e aquilo que já está no cognitivo dele, de forma progressiva e integradora.

Para Skovsmose (2001), a educação matemática crítica ocorre de forma democrática, em que alunos e professores, inseridos no processo educacional, dialogam, evidenciando seus posicionamentos acerca dos conteúdos do currículo a serem desenvolvidos, de acordo com os aspectos sociais, necessidades reais dos discentes e sua aplicabilidade.

A Geometria é “uma vertente da Matemática que estuda as figuras, planas e espaciais, sendo fundamental para a compreensão do mundo e para participação ativa do homem na sociedade” (MOURA; CAVALCANTE; GOMES, 2016), dessa forma, o conhecimento apreendido pode ser utilizado para resolver problemas presentes no cotidiano que envolvem diversas áreas do conhecimento. A geometria é uma área que surge como ferramenta para outras áreas, como a física, edificações e nas artes em geral, o que demonstra ser imprescindível a interdisciplinaridade.

Desta forma, o processo ensino-aprendizagem enfatizará a resolução de problemas práticos, que tenham

relevância e aplicabilidade no cotidiano do aluno, levando em consideração seus conhecimentos prévios e questões voltadas para a sociedade. A educação matemática crítica é primordial numa sociedade tecnológica, pois quem detém este conhecimento, detém o poder. Para que isso seja possível, é necessário que o docente desenvolva atividades que estimulem a competência democrática a partir de situações e materiais didáticos flexíveis e capacitadores, não somente a habilidade de resolver problemas.

Estratégias como jogos e o uso de modelagem matemática facilitam a análise e a proposição de soluções e permitem aprender brincando, promovendo a interação entre os alunos (BARROSO; NOGUEIRA, 2020). O “jogo é uma maneira de criar uma relação, uma aproximação de ideias entre pessoas (alunos), independentemente, de cultura, gênero ou contexto” (PADOVAN; JESUS, 2016). O aluno não deve ser um mero espectador das demonstrações realizadas pelo professor com materiais lúdicos, ele deve tocar, sentir e manipular os materiais, sendo disponibilizados para que, de forma individual ou em grupo, todos tenham contato com a atividade. A matemática quando ensinada de forma a envolver os sujeitos da aprendizagem na dinâmica do ensino mais concreto pode favorecer atitudes positivas frente ao ensino e os jogos e a modelagem matemática podem ser estratégias que auxiliem o professor no exercício de uma prática educativa mais eficiente (SOUZA; VICTER; LOPES, 2013).

As salas de aula são ambientes em que o exercício de cidadania e a democracia devem ser exercidos. Elas dão suporte às investigações e, para isso, é necessário dar espaço às formulações, tanto pelo professor, quanto pelos alunos, levando-os a buscar explicações, construindo um novo ambiente de aprendizagem.

O paradigma do exercício pode ser rompido quando se propõe atividades de formulação de problemas e estimula os alunos a explorar situações que demandam reflexões e criticidade, assim como de conceitos matemáticos que podem ser utilizados instintivamente.

Portanto, o papel do professor, nesse contexto, é ensinar de forma crítica e democrática, trabalhando com situações abertas, mais próximas da realidade do aluno, estimulando o debate, dando ênfase à investigação e à solução de problemas de forma criativa, colaborando com o desenvolvimento cognitivo dos discentes de forma mais dinâmica e interativa. A matemática deve ser um elemento estruturante que envolve a democracia e a tecnologia com o intuito de permitir que os alunos pensem, ajam e intervenham criticamente na sociedade na qual estão inseridos.

O presente estudo tem como objetivo geral verificar se uma sequência didática de construções geométricas, com ênfase no lúdico, facilita a aprendizagem significativa, de conceitos de geometria em turmas da 1º série do Ensino Médio. E como objetivos específicos: investigar as concepções prévias dos alunos a respeito de geometria, identificando as dificuldades e aplicar uma sequência didática que implemente o ensino de geometria na 1ª série do ensino médio mediante construções geométricas, partindo de atividades lúdicas, de maneira que facilite a associação delas com o cotidiano do aluno.

II. METODOLOGIA

A sequência didática, a respeito de construções geométricas, foi aplicada em uma escola da rede pública de

ensino do estado do Espírito Santo, com alunos de três turmas da 1ª Série do Ensino Médio Regular, matutino, perfazendo um total de 106 alunos, com o quantitativo de cinco aulas semanais no componente curricular matemática, durante o primeiro trimestre do ano letivo de 2020.

A pesquisa, de natureza qualitativa, coletou dados para averiguar a participação dos alunos nas atividades desenvolvidas, considerando os quesitos motivação, envolvimento nas atividades, formulação de perguntas e iniciativa durante a gravação de vídeos; a verbalização das experiências; a confecção de maquetes, assim como a descrição de sua elaboração pelos discentes, o uso de questionário para coleta das concepções prévias e a observação e descrição crítica da pesquisadora durante a aplicação. Foram consideradas também as apresentações dos seminários, que, devido à pandemia de Covid-19, foram adaptadas à produção de videoaulas realizadas pelos alunos, com o uso da plataforma *Google Classroom*, obedecendo aos critérios pré-estabelecidos pela pesquisadora, tais como adequação ao tema proposto, clareza na comunicação e apreciação global da atividade.

A compreensão dos dados obtidos através das observações docentes, das construções geométricas e das videoaulas baseou-se na perspectiva de Bardin (2009) cujo método de análise estrutura-se em três etapas: pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados.

III. RESULTADOS

Na análise qualitativa das alterações nas respostas inicial e final dos discentes, foram detectados indícios de aprendizagem significativa por parte do aluno, através das estratégias didáticas desenvolvidas.

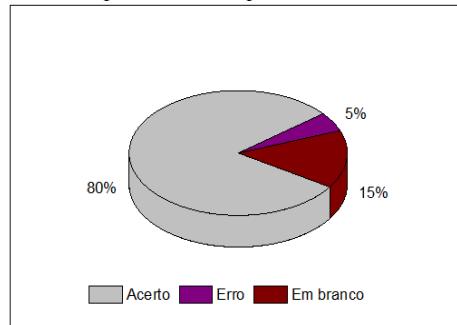
Para estruturar a aplicação da Sequência Didática, com o intuito de organizar o desenvolvimento e os momentos da investigação foi elaborado o seguinte roteiro:

- **1^a Etapa Investigativa - Coleta das concepções prévias dos discentes**

O quantitativo de 106 alunos respondeu ao questionário inicial composto por 12 questões para verificação de seus conhecimentos prévios sobre Geometria Espacial. Era necessário saber os pré-requisitos que os alunos traziam consigo para que os novos conhecimentos pudessem interagir e agregar significados para o dia a dia deles.

Na análise das respostas ao questionário, verificou-se que todos os participantes responderam ter estudado Geometria Espacial apenas durante o ano letivo em curso, demonstrando que o conteúdo não foi explorado no ensino fundamental, por não constar no livro didático ou pelo fato do professor simplesmente “pular” o conteúdo, negligenciando-o ou privando o aluno de tais conhecimentos; Ao ser investigado o reconhecimento das diferenças entre poliedros e corpos redondos, 80% afirmaram a existência de diferenças entre eles; 10% disseram que não; enquanto 10% optaram por não responder. A Figura 1 apresenta o gráfico das respostas dos alunos sobre diferenças entre poliedros e corpos redondos.

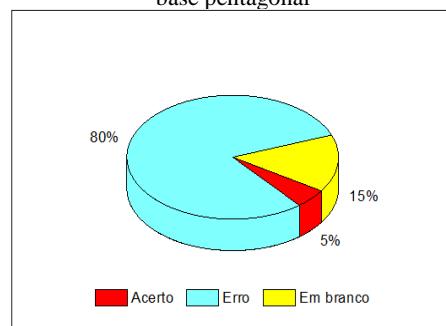
Figura 1 - Gráfico das respostas dos alunos sobre diferenças entre poliedros e corpos redondos



Fonte: Autores, 2020.

Foi observado que os discentes confundem o formato da pirâmide com a figura de um prisma, correspondendo, assim, 5% de acertos, 80% de erros e 15% preferiram deixar a questão em branco, o que indica que cerca de 95% dos alunos possuem uma concepção errônea sobre esta figura geométrica. A Figura 2 mostra o gráfico das respostas dos alunos sobre a pirâmide de base pentagonal.

Figura 2 - Gráfico das respostas dos alunos sobre a pirâmide de base pentagonal



Fonte: Autores, 2020.

Nas demais questões, observou-se grande dificuldade dos alunos em associar figuras geométricas presentes no cotidiano que se inter-relacionassem à geometria plana ou espacial; Houve também resistência de alguns em participar da atividade, talvez, por não terem em sua estrutura cognitiva nenhuma informação sobre geometria, o que resultou em algumas respostas em branco.

- **2^a Etapa Investigativa - Aula expositiva dialogada**

Durante as aulas com exposição do conteúdo de forma tradicional percebeu-se a postura passiva do aluno diante do assunto, o desinteresse e a dificuldade de assimilação do conhecimento.

- **3^a Etapa Investigativa - Apresentação de seminários**

Após as aulas tradicionais, os alunos formaram grupos e apresentaram seminários sobre geometria espacial. Alguns apenas reproduziam as suas falas, mas sem significação para eles. Outros manifestavam, além da insegurança, ausência de verbalização de conceitos fundamentais à geometria espacial. A partir deste momento, numa conversa informal, foi proposto para as turmas o desenvolvimento de atividades diferenciadas que buscassem uma aprendizagem matemática crítica e significativa com a participação massiva deles.

• 4^a Etapa Investigativa - Desenvolvimento de estratégias lúdicas

Foram solicitados projetos de forma concreta, partindo de construções geométricas para a aquisição de conhecimentos sobre a geometria espacial, abordando de forma lúdica os conceitos relacionados à temática. A partir da coleta dos dados dos relatórios, foi possível agrupar as informações em três categorias de análise: montagem da maquete, aprendizados e dificuldades encontradas durante o percurso. Mesmo com suas limitações, os alunos demonstraram interesse e apreço pela estratégia de ensino utilizada, afirmando que assimilaram melhor o conteúdo exposto em sala de aula, rompendo a barreira imposta pela aprendizagem mecânica do ensino tradicional.

• 5^a Etapa investigativa - Apresentação de maquetes e seminários

Consistiu na culminância do projeto com a exposição e apresentação dos trabalhos para a comunidade escolar. De modo a garantir a privacidade dos dados dos alunos e auxiliar na identificação das turmas de 1^a série do Ensino Médio, sujeitos desta pesquisa, foram utilizados os símbolos: V1, V2 e V3. Nesta etapa, foi possível destacar a dedicação e desempenho dos discentes durante a evolução do projeto, além de uma melhor capacidade de verbalizar o que foi aprendido, mobilizando a comunidade escolar e a Secretaria de Estado da Educação do Espírito Santo (SEDU-ES).

• 6^a Etapa investigativa - Produção e exibição de vídeos pelos discentes

Nesta etapa, devido a pandemia de Covid-19, as aulas presenciais nas escolas foram suspensas, após o decreto nº 4597-R de 16 de março de 2020, em todo o estado do Espírito Santo e foi adotado o ensino remoto, com o auxílio da Plataforma do *Google Classroom*. Após as adaptações dos alunos e a adesão a essa nova maneira de ensinar, os discentes produziram vídeos, em grupos, acerca do que haviam compreendido sobre geometria plana e espacial para reforçar o conteúdo da sequência didática.

Para fins de avaliação da atividade foram utilizados os seguintes critérios: clareza da apresentação, enquadramento do trabalho ao tema proposto, seleção de aspectos relevantes, dinâmica da apresentação e apreciação global, atribuindo-se os conceitos: ruim (nota 1), regular (nota 2), bom (nota 3) e excelente (nota 4);

Em outro momento, os vídeos foram exibidos por intermédio do aplicativo *Google Meet*, mediante webconferência, resultando no intercâmbio de informações entre os alunos. A respeito da dinâmica da apresentação, a maior parte dos grupos apresentou os seminários de forma clara, em conformidade com o tema proposto, com grande participação e interação entre seus integrantes e explorando recursos digitais, que trouxeram mais estética e maior fluidez para a exibição dos vídeos. Quanto à apreciação global, quase todos os participantes concluíram a atividade de modo exitoso, evidenciando que a estratégia adotada a partir do lúdico tem potencial significativo para a aprendizagem de conceitos da geometria espacial.

• 7^a Etapa investigativa - Disponibilização das etapas investigativas em um blog educativo

Corresponde à disponibilização das atividades da sequência didática em um blog com finalidade pedagógica. Após a conclusão das atividades diferenciadas, a presente pesquisadora as disponibilizou, de forma detalhada, no blog intitulado Experiências em Ensino de Matemática, para que

outros professores possam reproduzir e executar as ações conforme a realidade escolar em que estão inseridos, em sua prática escolar. A Figura 3 apresenta a Interface do blog Experiências em Ensino de Matemática.

Figura 3 - Interface do blog Experiências em Ensino de Matemática



Fonte: Autores, 2020.

Espera-se que o blog possa viabilizar o acesso às práticas inseridas na proposta didática tanto por professores quanto por alunos e demais visitantes a fim de divulgação científica e que essa sequência didática bem sucedida possa ser reproduzida em outras escolas, ressignificando o fazer pedagógico da matemática, conforme as especificidades de cada grupo escolar.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados do Brasil no PISA 2018 em matemática revelaram a urgência na busca de estratégias de ensino que contribuam com a melhoria do desempenho dos discentes neste componente curricular, trazendo impactos positivos que possam reverter os indicadores da educação básica brasileira.

O uso de elementos lúdicos no processo ensino-aprendizagem tem sido de grande interesse e relevância em pesquisas científicas devido às evidências de que sua inserção na educação propicia uma aprendizagem significativa, dinâmica, atrativa, interativa e centrada no aluno.

A presente pesquisa teve como objetivo averiguar se o uso de uma sequência didática com ênfase no lúdico possibilita a aprendizagem significativa e crítica de conceitos de geometria espacial. Sendo assim, os alunos da 1^a série do Ensino Médio de uma escola estadual do Espírito Santo participaram da intervenção didática cuja proposta foi a elaboração de maquetes com construções geométricas, utilizando conceitos adquiridos durante as aulas de matemática com a pesquisadora. Os alunos também deveriam compor relatórios descrevendo as etapas vivenciadas por eles durante a construção das maquetes, expondo os avanços e as dificuldades enfrentadas no decorrer do processo. As maquetes foram construídas nos horários disponibilizados pela pesquisadora ou cedidos por professores de outras disciplinas, além dos horários extraclasse, havendo mobilização de grande parte da escola e envolvimento dos alunos na elaboração das atividades.

A coleta de concepções prévias foi fundamental para verificar os conhecimentos que os alunos já traziam consigo e identificar suas dificuldades com o conteúdo, permitindo uma melhor organização no desenvolvimento da sequência didática, de modo que eles pudessem aprender de forma significativa, através do lúdico, utilizando conceitos preexistentes na sua estrutura cognitiva para que novos conhecimentos fossem ancorados a eles, conforme destaca David Ausubel (MOREIRA, 2009a).

Na interpretação dos questionários, observou-se uma grande defasagem de conteúdo por parte dos alunos, o que pode ser constatado quando 75% dos alunos não sabiam diferenciar uma figura plana de um sólido geométrico.

Como resultado da análise de dados dos relatórios, três categorias foram elencadas: montagem das maquetes, aprendizados e dificuldades. A primeira categoria demonstrou que os alunos utilizaram materiais diversos, predominando o uso de isopor, cola, tinta e caixas de papelão - materiais de baixo custo e de fácil acesso. Em relação aos aprendizados, os grupos participantes relataram que as explicações dadas nas aulas com o suporte lúdico auxiliaram na compreensão dos conceitos, explicitando tópicos sobre o tema, assim como expressões matemáticas. Quanto às dificuldades, consideraram que foi bastante exaustiva a realização da atividade, já que envolvia um maior comprometimento dos alunos e cooperação com o seu grupo. Alguns obtiveram ajuda dos familiares.

Mesmo evidenciando algumas dificuldades, os discentes afirmaram ter sido uma experiência exitosa, visto que conseguiram assimilar melhor o conteúdo e fazer associações entre o conhecimento adquirido em sala de aula e sua aplicabilidade no cotidiano, declarando que a execução do projeto trouxe “conhecimento para a vida”.

Portanto, por meio da interpretação dos dados coletados e da observação da autora deste trabalho, é possível evidenciar que a sequência didática utilizada, ancorada no lúdico, permite o melhor entendimento dos conceitos de geometria espacial.

V. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, H.; VIANA, M. **Ensino de ciências e matemática no Brasil: desafios para o século 21.** Parcerias Estratégicas. Edição especial. Brasília-DF, v. 16, n. 32, p. 21-226, jan-jul, 2011. Disponível em <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estategicas/article/viewFile/436/418>. Acesso em 09 jan. 2020.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo.** 5. ed. Lisboa: edições 70, 2009.
- BARROSO, C. N. de A.; NOGUEIRA, G. B. Potencialidades dos jogos didáticos para o ensino de ciências no ensino fundamental séries finais. **Revista Sodebras [on line],** v. 15, n. 177, 11-17, set. 2020. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N88.pdf>. Acesso em 26 jul. 2020.
- DRUCK, S. **A crise no Ensino de Matemática no Brasil.** Revista do Professor de Matemática, v. 52. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <http://www.geocities.ws/ilton_barcelos/Crisematematica.pdf>. Acesso em 11 fev. 2020.
- LEMOS, E. dos S. **A aprendizagem significativa: estratégias facilitadoras e avaliação.** Série-Estudos:

Periódicos do Mestrado em Educação da UCDB, v. 1, n. 21, Campo Grande, p. 25-35, jan/jun. 2006. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID3/v1_n1_a2011.pdf>. Acesso em: 26jan. 2020.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa.** Porto Alegre-RS, 2009a.

MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas** - UEPS. Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review, v.1(2), p. 43-63, 2011. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID10/v1_n2_a2011.pdf>. Acesso em 20 jan. 2020.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: Comportamentalismo, construtivismo e humanismo.** Porto Alegre-RS, 2009b.

MOURA, C. F. de; CAVALCANTE, C.; GOMES, R. L. R. **A geometria no ensino fundamental.** Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo, 2016. Disponível em: <<http://www.eumed.net/rev/atlante/2016/06/geometria.html>>. Acesso em 21 jan. 2020

PADOVAN, I. D. dos S.; JESUS, L. H. de. **A ludicidade e o ensino de matemática: reflexão cotidiana com professores dos anos iniciais do ensino fundamental.** RCC, Juara/MT/Brasil, v. 1, n. 1, p. 95-106, jul./dez. 2016.

POZO, J. I. **Teorias Cognitivas da Aprendizagem.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

SKOVSMOSE, O. **Educação matemática crítica: a questão da democracia.** Campinas: Papirus, 2001, Coleção Perspectivas em Educação Matemática, SBEM, 160 p.

SOUZA, C. A. de; VICTER, E. das F.; LOPES, J. R. Uso da história da trigonometria como elemento facilitador da aprendizagem das funções seno e cosseno: um estudo de caso. **Revista Sodebras [on line],** v. 8, n. 88, 11-17, abr. 2013. Disponível em: <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N177.pdf>. Acesso em 26 jul. 2020.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradeço às instituições de fomento Cnpq e CAPES e, também, a Faculdade Vale do Cricaré e todo o seu corpo docente, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Joccitiel Dias da Silva.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo

MODELOS BIVARIADOS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS DO DF

BIVARIATE MODELS OF EXTREME CLIMATE EVENTS OF DF

SHAYANE DOS SANTOS CORDEIRO¹; CIRA E. GUEVARA OTINIANO

1 -UNIVERSIADE DE BRASILIA

shayane.cordeiro@gmail.com ; cira@unb.br

Resumo – No Distrito Federal- Brasil, no período de seca, os dados de Temperatura e Umidade relativa do ar atingem níveis extremos de alerta para a população. Neste trabalho utiliza-se modelos de cópulas para investigar a dependência entre as componentes dos vetores (temperatura, umidade) e (temperatura, pressão). A estimativas dos parâmetros da cópula foram baseadas no método de estimação em dois estágios, método de inferência para marginais (IFM) . Após ajustar os dados bivariados conclui-se que os modelos bivariados baseados em cópula são Frank com marginais GEV (distribuição de valor extremo generalizado). Com essa modelagem é possível realizar a previsão do tempo de retorno de níveis extremos de temperatura e umidade ou temperatura e pressão com um certo nível de confiança. Aqui mostramos, graficamente, os níveis de retorno de cada componente marginal temperatura, umidade e pressão.

Palavras-chave: 1. Eventos extremos 2. Cópulas bivariadas 3. Nível de retorno

Abstract - In the Federal District-Brazil, during the dry season, the temperature and relative humidity data reach extreme levels of alert for a population. In this work, copula models are used to investigate the dependence between the components of the vectors (temperature, humidity) and (temperature, pressure). The estimation of parameters of the copula were based on the two-stage estimation method, method of inference function for margins (IFM). After fit the bivariate data, it is concluded that the copula -based bivariate models are Frank with margins GEV (generalized extreme value distribution). With this modeling it is possible to forecast the return time of extreme levels of temperature and humidity or temperature and pressure with a confidence level of confidence. Here we show, graphically, the return levels of each component of marginal temperature, humidity and pressure.

Keywords: 1. Extreme events 2. Bivariate copulas 3. Return level

I. INTRODUÇÃO

Estudos indicam (INMET, 2017) que o Distrito Federal (DF) apresenta uma tendência de aumento e queda respectivamente na temperatura e na umidade relativa do ar no período da seca. A população do DF sofre com os níveis

extremos dessas componentes atmosféricas ao serem vítimas de desastres naturais de origem climática (STEINKE; BARROS, 2015). No período da seca, notícias como do dia 3/10/2020 veiculadas pelo Correio Brasiliense “ DF fica em estado de alerta pela baixa umidade; temperatura pode chegar a 35°C e a umidade do ar deve variar entre 80% e 12%” mostram a necessidade de realizar estudos científicos mais robustos que possam explicar melhor a relação entre temperatura e umidade de ar do DF a fim de auxiliar o governo no planejamento de ações que diminuam possíveis danos naturais de origem climática.

No Brasil o órgão responsável por realizar a previsão do tempo é o Instituto Nacional de Meteorologia, INMET. A previsão do tempo é realizada em várias etapas. A primeira consiste em coletar dados a partir das observações da condição atmosférica por meio de 400 estações meteorológicas espalhadas por todo o território nacional. Após a coleta é realizado um diagnóstico desses dados através de modelos físicos, matemáticos e ferramentas estatísticas. Como resultado dessa análise é produzida a previsão do tempo num intervalo de 24, 48, 72 e 96h para frente. Na previsão do tempo de curto prazo são também utilizadas imagens de satélites geradas a cada 30min, de hora em hora ou a cada 3h (INMET, 2020).

Os dados coletados, a partir das estações meteorológicas, compreendem várias variáveis aleatórias como temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão, velocidade de vento, radiação.

Pereira et al. (2019) utilizaram um modelo de regressão para modelar os dados de temperatura do ar do DF. Já Bayer Débora e Bayer Fábio (2015), utilizaram um modelo beta autoregressivo de média móvel para a previsão da umidade relativa do ar de Brasília.

Na literatura científica não consta uma análise probabilística da dependência dessas variáveis para a região do Distrito Federal (DF), como por exemplo a dependência entre umidade relativa do ar e temperatura. Esse estudo é de suma importância, pois quando essas duas variáveis atingem certos níveis o INMET envia um sinal de alerta para à população a fim de seguir cuidados especiais para não sofrerem prejuízos com sua saúde. Isso sugere que há uma dependência significativa entre umidade relativa do ar e temperatura.

Neste trabalho, para modelar a dependência 2 a 2 dessas variáveis foi utilizado modelos bivariados baseados em cópulas arquimediana. A vantagem de utilizar cópulas

para modelar dados bivariados é devido a sua flexibilidade no ajuste dos dados. Além disso, sua inferência estatística já foi estabelecida na literatura (NELSEN, 2005). Para a estimação dos parâmetros das cónulas há pacotes estatísticos de software livre como por exemplo no R project (KOLEV; FERREIRA, 2014).

II. METODOLOGIA

O DF localiza-se localizado no Centro-Oeste do Brasil a 15°47' de latitude sul e a 47°56' de longitude oeste, onde se encontram as cabeceiras de afluentes de três dos maiores rios brasileiros – o Rio Maranhão (afluente do Rio Tocantins), o Rio Preto (afluente do São Francisco) e os rios São Bartolomeu e Descoberto (tributários do Rio Paraná). O DF está a cerca de 1.000 metros do nível do mar e tem clima tropical com média de 22°C e variações durante o dia de 13°C a 28°C. Destacam-se dois períodos climáticos, chuvoso e seco. O período chuvoso compreende de outubro ao início de maio, quando a umidade relativa do ar é mais alta (com mais de 70%), já o no período entre maio e setembro a umidade relativa do ar é baixa e os dias são mais quentes podendo atingir a umidade abaixo de 30%. A Figura 1 apresenta esse tipo de dados.

Figura1- Mapa com indicativo de baixa umidade do ar.



Fonte: <https://portal.inmet.gov.br>, 29/08/2020

Para a modelagem de pares das variáveis aleatórias temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão, velocidade de vento, radiação e chuva utilizamos cónulas Arquimedianas.

Uma Cónula bidimensional $C: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ é uma função de distribuição de probabilidade restrita ao $[0, 1] \times [0, 1]$. Pelo Teorema Sklar (NELSEN R. 2005), se H é uma função de distribuição conjunta com distribuições marginais contínuas F e G , então existe uma única cónula C tal que para todo x, y em R , $H(x, y) = C(F(x), G(y))$. Isto é, se (X, Y) é um vetor aleatório com distribuição conjunta H , X com distribuição F e Y com distribuição G , então H pode ser construída a partir da função de dependência C e as distribuições marginais F e G .

As principais famílias de copulas são: Elípticas, Arquimedianas, Marshall Alkin, Extremais e CDVine (JOE 2014). Neste trabalho utilizamos a família de cónulas arquimedianas por apresentarem uma ampla flexibilidade de modelos e terem boas propriedades matemáticas que facilitam seu estudo e ajuste. As principais cónulas arquimedianas são denominadas de cónulas de Clayton, de Gumbel, e de Frank.

$$\text{Clayton: } c(u, v) = \max\{u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1\}^{1/\theta} \quad \theta \in [-1, \infty] \setminus 0 \quad (1)$$

$$\text{Gumbel: } c(u, v) = \exp\left(-\left((-\ln u)^\theta + (-\ln v)^\theta\right)\right)^{1/\theta} \in [1, \infty) \quad (2)$$

$$\text{Frank: } c(u, v) = \frac{-1}{\theta} \ln\left(1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{(e^{-\theta} - 1)}\right) \theta \in (-\infty, \infty) \setminus 0 \quad (3)$$

Os dados utilizados, referentes a temperatura, umidade, ponto de orvalho, pressão, velocidade do vento e radiação foram obtidos através do portal do INMET em <http://www.inmet.gov.br> realizando os seguintes passos: 1) seleção da aba referente a estações e dados, 2) seleção do ícone estações automáticas do DF. Para cada hora do dia que começa às 00 horas e termina as 23 horas é obtida uma observação em cada instante.

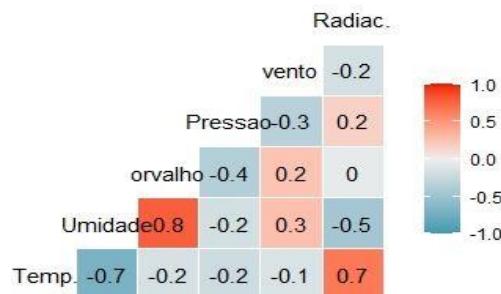
Os dados correspondem aos dias 12/10/2018 até 12/10/2019. Para análise foram ajustados os dados marginais e bivariados baseados em cónulas arquimedianas através da plataforma estatística livre *R-project*.

III. RESULTADOS

3.3 - procedimentos e Métodos

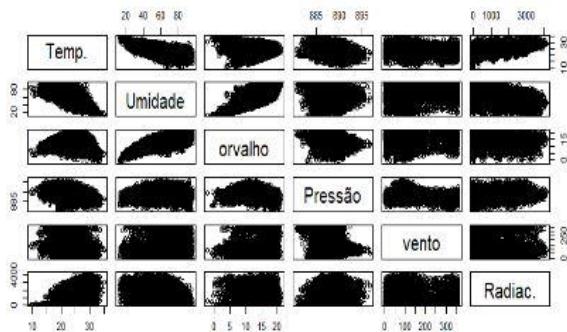
Inicialmente foi observado a correlação linear entre pares de variáveis, conforme a Figura 2, e a dependência das componentes de vetores bivariados através do scatterplot mostrado na Figura 3. Da Figura 2 se destaca uma forte correlação linear negativa entre temperatura e umidade (-0.7) e uma forte correlação linear positiva entre temperatura e radiação (0.7), as demais variáveis apresentam uma correlação linear abaixo de 0,5. Para estes últimos casos é necessário estudar outro tipo de dependência entre esses pares de variáveis aleatória. Assim faz-se necessário o Sacatterplot dos pares de dados presente Figura 3 indicando que a dependência dessas variáveis não é linear e os modelos de cónulas podem expressar melhor essa dependência.

Figura 2 - Correlação de Pearson dos dados 2 a dois.



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 3 - Scatterplot dos pares das 6 variáveis.



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

3.2 - Análise das distribuições marginais

Para verificar a hipótese de normalidade dos dados marginais temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão, velocidade de vento, e radiação foi realizado o teste de Shapiro Wilk. Os resultados, mostrados na Tabela 1 indicam que o modelo univariado não é Gaussiano.

Tabela 1 – Saídas do R para o teste de Shapiro-Wilk.

Variável	W	p-valor
Temperatura Máxima	0.9425	$2.2e^{-16}$
Umidade Máxima	0.8437	$2.2e^{-16}$
Ponto de Orvalho	0.8965	$2.2e^{-16}$
Pressão	0.9846	$2.97e^{-09}$
Velocidade Vento	0.8544	$2.2e^{-16}$
Radiação	0.8675	$2.2e^{-16}$

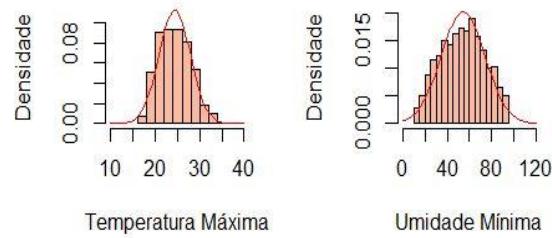
Como nosso interesse é modelar dados referentes a valores extremais (máximos) surge naturalmente o uso da distribuição de valor extremo generalizado, conhecida como GEV. Essa distribuição é amplamente utilizada nas áreas de hidrologia, fianças, atuaría, entre outras (EMBRECHTS, 1997). A Função de distribuição acumulada (FDA) da GEV é dada por:

$$F(s, \xi) = \exp(-(1 + \xi s))^{-1/\xi} \quad \xi \neq 0 \quad (4)$$

$$F(s, \xi) = \exp(-\exp(-s)) \quad \xi = 0 \quad (5)$$

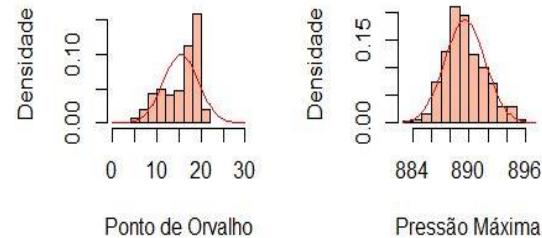
Sendo a variável padronizada tal que $s = x - \mu$, μ é o parâmetro de locação, σ de escala e ξ de forma. F é definida para $s > -1/\xi$ quando $\xi > 0$ e para $s < -1/\xi$ quando $\xi < 0$. Para detalhes das propriedades da GEV ver Embrechts et al. 1997. Os dados aqui utilizados são observações diárias (24 por dia). Para ajustar esses dados por uma distribuição GEV foram formados blocos máximos e mínimo de tamanho 8 utilizando o pacote *TIDYVERSE* no R. Assim, diariamente há três observações mínimas (variável umidade) e máximas (demais variáveis). Os histogramas nas Figuras 4-6 correspondem as variáveis temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão, velocidade de vento, e radiação, respectivamente.

Figura 4 - Histograma e curva suavizada dos dados de temperatura máxima e umidade mínima.



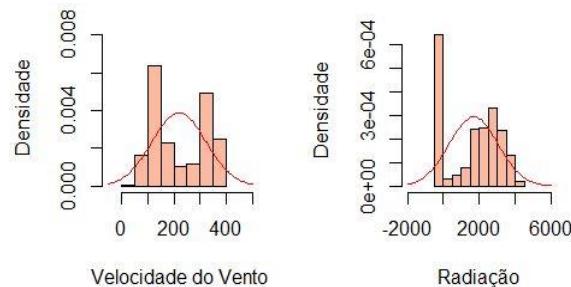
Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 5 - Histograma e curva suavizada dos dados máximos ponto de orvalho e pressão máxima.



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019

Figura 6 - Histograma e curva suavizada dos dados máximos da velocidade do vento e radiação máxima.



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Os parâmetros μ , σ e ξ da distribuição GEV foram estimados pelo método de máxima verossimilhança (MV) com o pacote *EXTREMS* do R Project através da função *fecd*. A Tabela 2 mostra os resultados das estimativas para os 6 conjuntos de dados.

Tabela 2 – Resultado das estimativas de MV de μ (locação), σ (escala) e ξ (forma).

Variável	Locação	Escala	Forma
Temperatura Máxima	23.009	3.344	-0.21
Umidade Mínima	47.854	20.069	-0.346
Ponto de Orvalho	13.845	1048.48	98.493
Pressão	888.719	1.992	-0.18
Velocidade Vento	220.396	141.25	-1.012
Radiação	1319.09	1451.39	-0.48

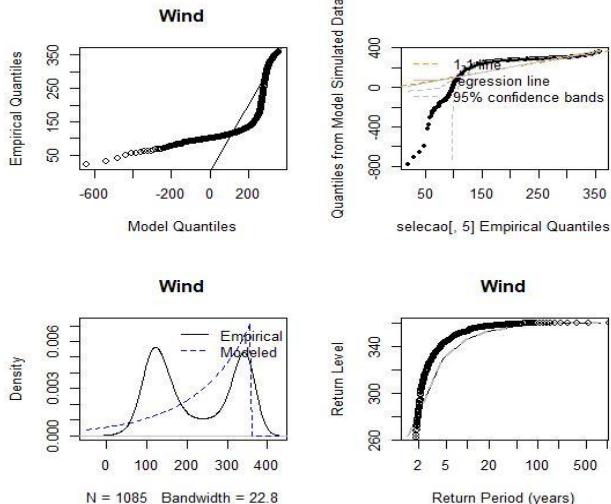
Os estimadores de MV da GEV são assintoticamente consistentes para $\xi < 1$ (EMBRECHTS, 1997). Logo pode-se afirmar que a distribuição GEV não é um modelo apropriado para os dados de ponto de orvalho.

As Figuras 7-11, já implementadas na função *fevd* no R, mostram as densidades empíricas versus densidade ajustada que explicam melhor esses ajustes. O resultado do Q-qplot complementa a análise de ajuste do modelo para cada variável. Uma medida de risco objeto de estudo em hidrologia é o nível de retorno.

O gráfico da função nível de retorno para esses dados pode ser interpretado como o tempo que uma dada observação levará para ser observada novamente.

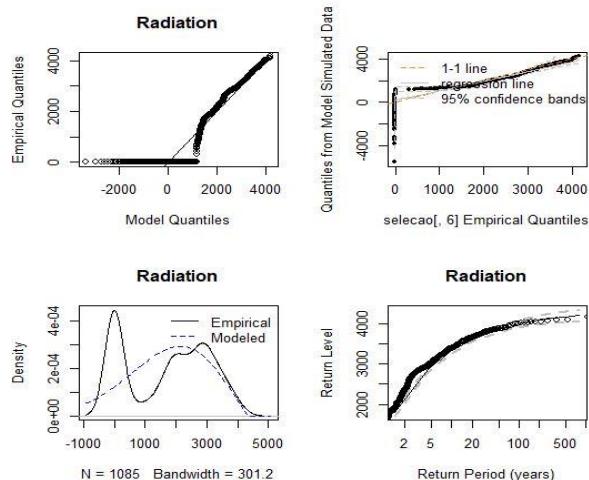
Os Q-qplots e densidades das Figuras 7 e 8 indicam que a velocidade do vento e radiação não é um modelo GEV e sim uma mistura de distribuições GEV, visto que eles apresentam bimodalidade. Já, as Figuras 9-11, mostram que os dados de temperatura, umidade e pressão se ajustam bem à distribuição GEV. O que segue neste trabalho está voltado para a análise bivariada dessas três últimas variáveis que foram bem ajustadas pela distribuição GEV.

Figura 7 – Velocidade do vento: Q-q plot empírico versus estimado, densidade empírica versus ajustada e tempo de retorno.



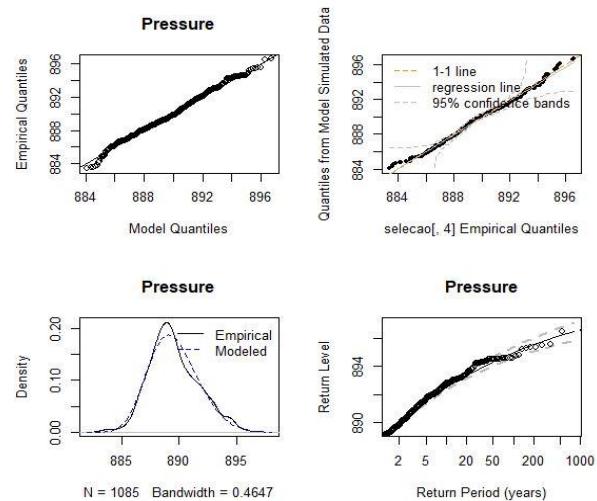
Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 8 - Radiação: Q-qplot empírico versus estimado, densidade empírica versus ajustada e tempo de retorno



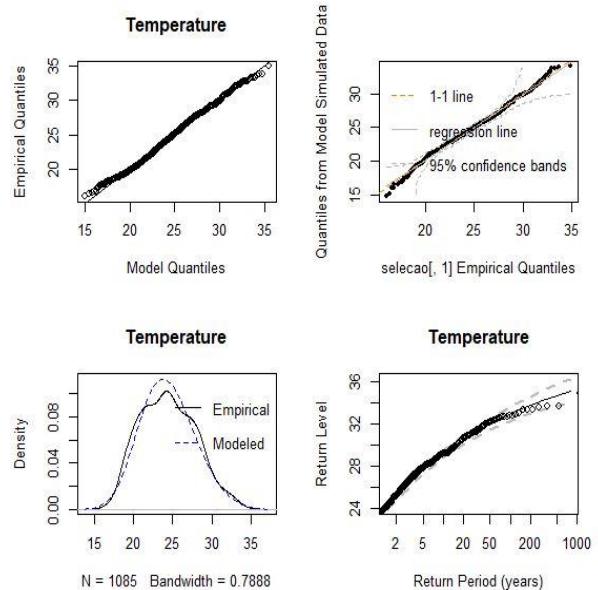
Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 9 - Pressão: Q-qplot empírico versus estimado, densidade empírica versus ajustada e tempo de retorno



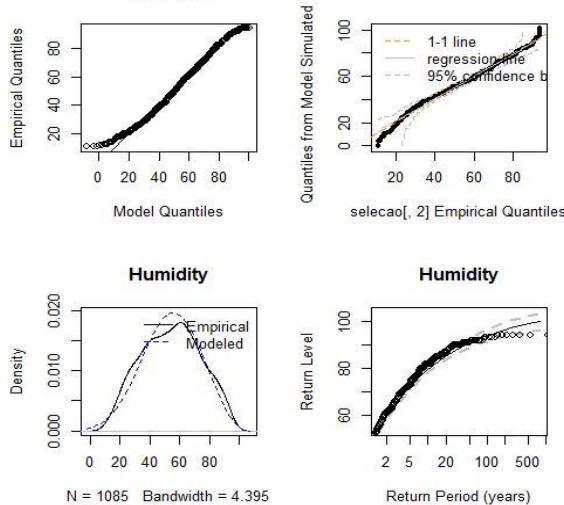
Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 10 - Temperatura: Q-qplot empírico versus estimado, densidade empírica versus ajustada e tempo de retorno.



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 11 - Umidade: Q-qplot empírico versus estimado, densidade empírica versus ajustada e tempo de



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Neste trabalho foram estimados os níveis de retorno individuais para os dados das Figuras 9-11. A previsão de níveis de retorno de temperatura máxima, umidade mínima do ar e pressão podem servir como uma ferramenta de auxílio para o INMET, pois no período da seca esses dados do Distrito Federal atingem níveis de alerta para população, conforme mostrado na Figura 1.

Tabela 3 – Resultados dos níveis de retorno para os extremos da: temperatura, umidade e pressão.

Retorno (Anos)	Temperatura	Umidade	Pressão
2	24.2	54.76	889.56
20	30.4	85.07	893.3
100	32.9	94.0	894.9

3.3. Ajuste dos Modelos bivariados com cópulas

Nesta seção serão modelados, por cópulas arquimedianas apresentadas nas equações (1), (2) e (3), os dados de temperatura, umidade e pressão, pois eles tiveram bom ajuste com a distribuição GEV. Será utilizado o método de máxima verossimilhança em dois estágios, método de inferência para marginais (IFM) (JOE, 2005), sendo as distribuições marginais GEV com as estimativas dadas na Tabela 2.

Algoritmos úteis na estimação são de Kolev e Ferreira (2014), no R são utilizados os pacotes *EVD* e *COPULA*. O resultado das estimativas do parâmetro das três cópulas arquimedianas e Gaussiana são mostrados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Estimativas de MV do parâmetro das cópulas: temperatura e umidade do ar.

Cópula	α	Máxima Verossimilhança
Clayton	-0.7654	$-1.798e^{308}$
Frank	-5.843	390.7
Gaussiana	-0.728	420.3
Gumbel	1	$-1.669e^{-05}$

Tabela 5 – Estimativas de MV do parâmetro das cópulas: temperatura e pressão.

Cópula	α	Máxima Verossimilhança
Clayton	-0.01628	0.1884
Frank	-0.6143	5.812
Gaussiana	-0.1185	7.794
Gumbel	1	$-4.181e^{-06}$

A cópula que melhor representa o conjunto de dados, é escolhida de acordo com os menores valores do critério de informação de Akaike (AIC) ou critério de Informação bayesiano (BIC). Pelos resultados do AIC nas Tabelas 6 e 7 tem-se como possíveis candidatos as cópulas Gaussianas e de Frank. Como as distribuições marginais não são Gaussianas, conforme Tabela 1, concluímos que o modelo mais apropriado é a copula de Frank para os dois vetores.

Tabela 6 – Resultados do AIC e BIC: temperatura e umidade.

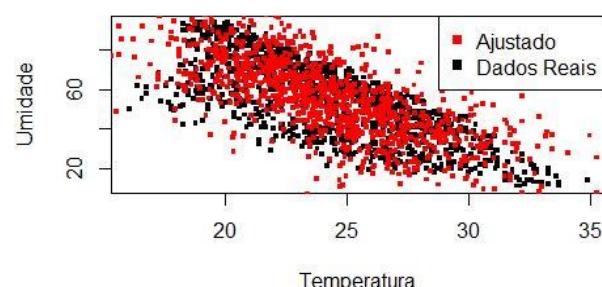
Cópula	AIC	BIC
Clayton	Inf	Inf
Frank	-779.397	-776.099
Gaussiana	-838.68	-835.38
Gumbel	2	5.2984

Tabela 7 – Resultados do AIC e BIC: temperatura e pressão.

Cópula	AIC	BIC
Clayton	1.6233	4.9216
Frank	-9.6237	-6.3254
Gaussiana	-13.6267	-10.3284
Gumbel	2	5.2984

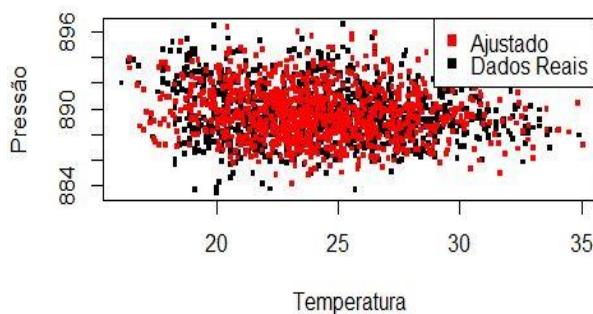
Por fim, para ilustrar graficamente o ajuste dos vetores, nas Figuras 12 e 13, foi comparado os scatterplot dos dados reais versus dados simulados das cópulas estimadas. Desses figuras e das Tabelas 6 e 7 pode-se concluir que os dados bivariados (Temperatura, Umidade) e (Temperatura, Pressão) são bem ajustados com cópulas de Frank e distribuições marginais GEV. Baseado nestes resultados, para um trabalho futuro, deixamos a estimação do tempo de retorno de níveis máximos de (Temperatura, Umidade) e de (Temperatura, Pressão), fixado um nível de confiança.

Figura 12 - Ajuste de temperatura e umidade pela cópula de Frank e marginais GEV(vermelho) versus dados reais (preto).



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

Figura 13 – Ajuste da temperatura e pressão pela cópula Frank e marginais GEV(vermelho) e dados reais (preto).



Fonte: Elaboração própria, dados INMET, 2018-2019.

IV. CONCLUSÃO

O modelo de cópulas arquimedianas utilizadas neste trabalho se mostrou eficiente para modelar dados de eventos climáticos como temperatura versus umidade e temperatura versus pressão sendo que as marginais são distribuições GEV. Para os outros conjuntos de dados, nossa análise sugere modelos mais complexos como modelos baseados em mistura de distribuições, o qual será objeto de estudo de um trabalho futuro. Além disso, foram obtidos níveis de retorno anuais de eventos extremos para as componentes marginais temperatura, umidade do ar e pressão. Valores mais expressivos de níveis de retorno para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar poderão ser obtidos ao considerar apenas o período da seca.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, Débora M; BAYER Fábio M. Previsão da umidade relativa do ar de Brasília por meio de um modelo beta autorregressivo de médias móveis. *Rev. Bras. Meteorol.*. Vol 30(3), 219-326, 2015. CORREIO BRASILIENSE. Notícia do 03/10/2020. Disponível em: <<https://www.correiobrasiliense.com.br/cidades-df/2020/10/4879791-df-fica-em-estado-de-alerta-pela-baixa-umidade-temperatura-pode-chegar-a-35c.html>>. Acesso em 04/10/2020>.

EMBRECHTS, Paul; KLUPPELBERG, Claudia; MICOSCH, Thomas. **Modelling Extremal Events or Insurance and Finance**. Springer -Verlag Heidelberg, 1997.

ERCÍLIA, Torres S; JULIANA, Ramalho B. Tipos de tempo e desastres urbanos no Distrito Federal entre 2000 e 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*. Vol 8 1435-1453, 2015.

INMET- Departamento de Informática do Instituto Nacional de Metereologia. Levantamento sobre o comportamento da chuva, temperatura do ar e umidade relativa do ar em Brasília-DF no mês de dezembro de 2017,e dados. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 01 out de 2019

JOE, Harry. Asymptotic efficiency of the two-stage estimation method for copula-based models. *Journal of Multivariate Analysis*, Vol 94, 401 – 419 , 2005.

JOE, Harry. **Dependence Modeling with Copulas**. Champanhe and Hall, 2014.

KOLEV, Nikolai; FERREIRA, Leandro. **Copulas: Introduction and Modelling with Examples using R**. Disponível:<https://www.ime.usp.br/~abe/sinape2014/weboot/files/MINICURSOS/SINAPE2014_M8.pdf>. Acesso em 15 set 2019.

NELSEN, Roger B. **An Introduction to Copulas**. Springer, Segunda Edição, 2005.

PEREIRA, Rodrigo M; TAIRONI, Paiva Leão; DELVIO Sandri; GUSTAVO MACEDO de Mello B; LUCIANO, Soares C. Modelagem da Temperatura do Ar na Região do Distrito Federal – Brasil, por meio de Dados Atmosféricos do Sensor AIRS. *Rev. Bras. Meteorol.* Vol.34 (2) 275-282, 2019.

PORTAL DO GDF. Figura 1. Disponível em : <<http://www.dg.gov.br/>>. Acesso em 10 agosto de 2020.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Shayane dos Santos Cordeiro, Cira E. Guevara Otiniano.

ANÁLISE DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA DA ENERGIA EÓLICA A PARTIR DE TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE TEXTO EM PATENTES

TECHNOLOGICAL TRAJECTORY ANALYSIS IN WIND ENERGY FROM TEXT MINING TECHNIQUES IN PATENTS

CLEBER GUSTAVO DIAS¹; ALAYDES MIKAELLE DE MORAIS¹;

1 – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO.

diascg@uni9.pro.br, alaydes.moraes@gmail.com

Resumo – As energias renováveis tornaram-se bens importantes para muitos países durante os últimos anos, e a energia eólica é uma das mais relevantes. Por conseguinte, este trabalho apresenta uma análise da trajetória tecnológica da energia eólica, utilizando técnicas de mineração de texto em documentos de patentes concedidas e de pedidos de patentes entre 2010 e 2019. As patentes foram recuperadas da base de dados da Organização Mundial da Propriedade Intelectual, utilizando técnicas de mineração de texto nos resumos e outras informações de texto obtidas do repositório. Os resultados mostraram não só o estado da arte sobre as tecnologias desenvolvidas pelos inventores e requerentes de patentes, mas também as tendências potenciais dos diferentes pesquisadores interessados dessa energia renovável.

Palavras-chave: Energia eólica. Energia renovável. Mineração de texto.

Abstract - Renewable energies have become extremely relevant assets for many countries during the past years, and the wind energy is one of the most relevant ones. Therefore, this paper presents a technological trajectory analysis in wind energy, using text-mining techniques in granted patent and patent application documents from 2010 until 2019. The patents have been recovered from the World Intellectual Property Organization database, using text-mining in the abstracts and other text information for this repository. The results have shown not only the state of the art about the technologies developed by inventors and patent applicants, but also potential trends of the distinct stakeholders on that type of renewable energy.

Keywords: Wind energy. Renewable energy. Text mining.

I. INTRODUÇÃO

Ao observar às discussões sobre o aspecto energético, aprofundadas pelo cenário internacional de escassez de petróleo e pelas alterações climáticas, causadas através da queima de combustíveis fósseis, surgem alternativas na produção de energia, tais como as oriundas do poder dos ventos, a chamada energia eólica (PÍTSICA, 2015).

As Energias Renováveis estão em crescimento, pois elas minimizam os impactos ambientais, e uma vez consideradas como fontes de energia limpas é possível que produzam o mínimo de resíduos secundários e são sustentáveis com base nas necessidades econômicas e sociais atuais e futuras (OLAJIRE, 2020).

Trazendo alguns cenários globais, nos Estados Unidos, em meados de 2009, as fontes de energia renováveis forneciam apenas cerca de onze por cento da eletricidade do país (EIA, 2019). Contudo, os pesquisadores demonstraram que o fornecimento de todas as necessidades energéticas dos Estados Unidos a partir delas poderia ser possível no futuro com a elevada inserção desse tipo de energias não poluentes (NEILL et al, 2018). O Laboratório Nacional de Energias Renováveis - NREL sugeriu que em 2050 as energias renováveis suportarão potencialmente cerca de oitenta por cento do consumo total de eletricidade nos EUA (HAND et al, 2012). A China, seguindo o mesmo caminho, tem o objetivo de gerar oitenta e cinco por cento da eletricidade a partir de fontes renováveis no mesmo ano (PENG et al, 2020).

Em todo o mundo, é possível encontrar agências e institutos governamentais que trabalham para estudar, encontrar e melhorar a maior parte das energias renováveis. A U.S. Energy Information Administration - EIA, International Renewable Energy Agency - IRENA, National Energy Administration - NEA nos EUA e o China National Renewable Energy Centre - CNREC são alguns exemplos de tais organismos governamentais. Eles encorajam, promovem e enriquecem os pesquisadores que procuram dados sobre energias renováveis (NEWBERRY et al, 2018).

Mais particularmente, a energia eólica é uma das líderes quando o tema é uma fonte de energia limpa, as empresas e os países estão a correr para compreender, estudar e obter mais informação e conhecimento para produzir mais com menos e evitar fontes de energia não renováveis e mais tradicionais como o Petróleo (INFIELD e FRERIS, 2020), sendo a razão para selecionar esta fonte como foco de investigação para este trabalho.

A fim de compreender como a Energia Eólica está a comportar-se no estado da arte, foram utilizadas técnicas de mineração de texto para obter informações de bases de

dados públicas, como a de patentes da Organização Mundial da Propriedade Intelectual - OMPI.

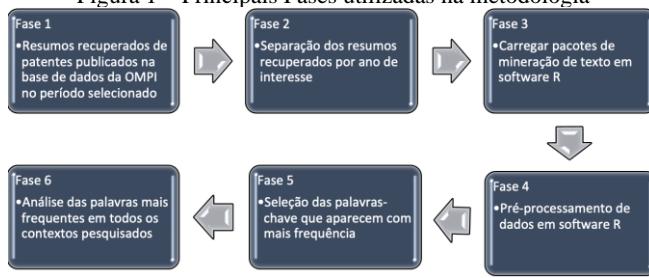
II. METODOLOGIA

Para uma análise de tendências em energia eólica, este artigo aplicou algumas técnicas de mineração de texto em resumos de documentos de patentes concedidas e de pedidos de patentes desde 2010 até 2019 na base de dados da OMPI. Os dados foram recuperados da base de dados da OMPI pois ela possui um repositório com mais de 80 milhões de documentos de patentes. Além disso, estas fontes de dados selecionadas são geralmente consideradas como fontes respeitáveis e fornecem ferramentas fáceis de usar para pesquisar e extraer dados.

Por conseguinte, a presente metodologia, para a extracção de informação sobre patentes, foi realizada utilizando os principais métodos de mineração de texto (WEISS, INDURKHYA e ZHANG, 2015) e consiste em seis fases, como explicado a seguir.

Cada fase pode ser resumida da seguinte forma: as fases 1 e 2 estão relacionadas com os documentos extraídos e os métodos de normalização utilizados, uma vez que os resumos de patentes foram recuperados e os dados foram distribuídos por ano de interesse, os arquivos foram processados a partir de arquivos de texto (formato .csv), já na fase 3 os pacotes de mineração de texto foram carregados no software R. Na fase 4, a tokenização e a lemmatização são aplicadas, sendo depois possível recolher um dicionário na fase 5. Este processo foi feito para cada dado de energia eólica extraído da OMPI. Depois disso, na fase 6, é possível comparar o dicionário em cada campo e base de dados da energia renovável estudada e correlacioná-los, todas as fases podem ser observadas na Figura 1:

Figura 1 – Principais Fases utilizadas na metodologia

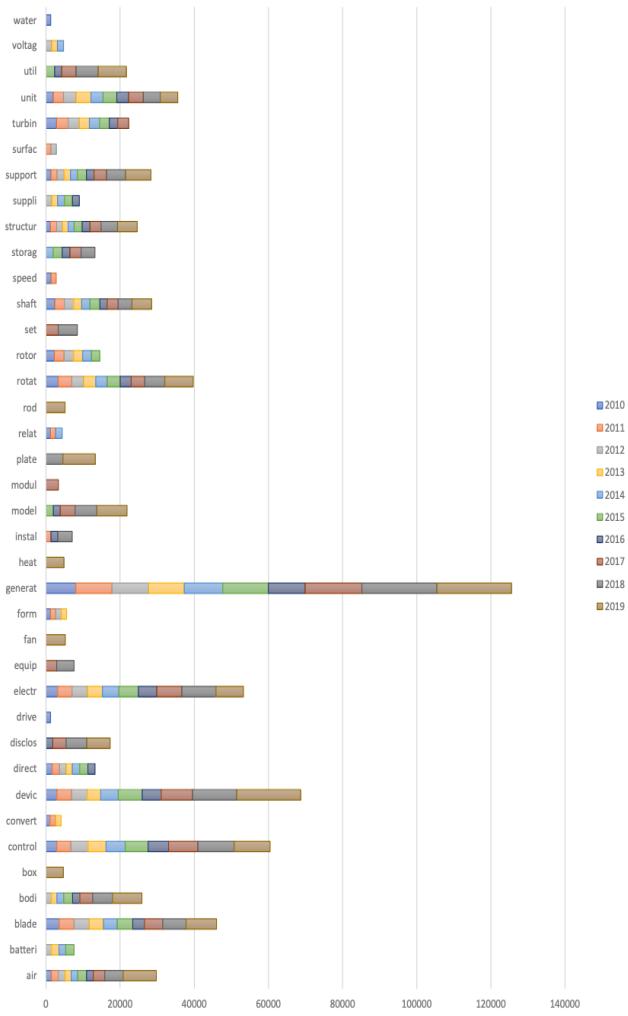


Fonte: Autores, 2020.

III. RESULTADOS

A primeira análise, extraída da base de dados de patentes da OMPI permitiu uma visualização de palavras frequentes que aparecem e desaparecem ao longo do tempo, e outras que crescem ou não durante a década. Inicialmente foi buscado em cada ano as vinte palavras mais frequentes, com isso foi possível comparar as palavras que ganhavam ou perdiam frequência conforme a Figura 2.

Figura 2 – Todas as palavras extraídas da Pesquisa de Energia Eólica na base OMPI



Fonte: Autores, 2020.

Já a Tabela 1 e Tabela 2 mostram e conseguem retratar que para o primeiro ano, 2010, e o último, 2019, todas essas palavras aumentam a frequência, dando uma forte sugestão de que, nesses assuntos, os inventores ainda seguem o mesmo caminho: "air", "blade", "control", "devic", "electr", "generat", "rotat", "shaft", "structur", "support" e "unit". Uma leitura cuidadosa sobre resumos de patentes permite observar que algumas palavras frequentes são aplicadas para resolver problemas técnicos particulares. Por exemplo, a palavra "blade" está relacionada com inventores e requerentes cuja preocupação é a concepção de pás de rotor de turbinas eólicas e a forma de melhorar o seu desempenho aerodinâmico.

Tabela 1 – Palavras frequentes que se repetem de 2010 a 2014

Palavra	2010	2011	2012	2013	2014
air	1437	1910	1841	1597	1803
blade	3568	4011	4100	3828	3732
control	2926	3801	4639	4831	5174
devic	2959	3950	4253	3602	4727
electr	3155	3890	4167	3991	4472
generat	8061	9744	9899	9598	10395
rotat	3292	3672	3206	3271	3109
shaft	2375	2584	2522	2138	2236
structur	1213	1666	1573	1524	1615
support	1354	1650	1896	1696	1868
unit	1968	2760	3384	4015	3257

Tabela 2 – Palavras frequentes que se repetem de 2015 a 2019

Palavra	2015	2016	2017	2018	2019
air	2355	1826	3102	4941	8947
blade	4165	3156	4925	6303	8207
control	6162	5535	7918	9779	9677
devic	6473	5113	8474	11918	17229
electr	5257	4948	6772	9201	7407
generat	12281	9944	15292	20241	20115
rotat	3467	2973	3664	5397	7660
shaft	2675	1978	2965	3723	5326
structur	2163	2115	2997	4427	5300
support	2446	2075	3372	5114	6845
unit	3712	3213	3941	4553	4752

Na maioria dos casos, as patentes revelam alguns instrumentos, dispositivos e métodos para construir e/ou instalar a sua estrutura. Assim, as palavras "device" e "connect", por exemplo, são bastante citadas nos resumos de patentes devido à ligação dos componentes normalmente encontrados durante a construção de um rotor de vento. A palavra "control" está frequentemente associada a outras palavras, como "blade" e "shaft", uma vez que os inventores desenvolveram tecnologias para melhorar o controle do ângulo de inclinação da lâmina, por exemplo.

Aproximando mais os resultados e buscando os proponentes das patentes, quem será o detentor da invenção, a Tabela 3 revela algumas informações interessantes sobre as dez maiores empresas do setor energético eólico.

Tabela 3 – Dez maiores proponentes de 2010 a 2019

Proponentes	Frequência
STATE GRID CORPORATION OF CHINA	1,279
GENERAL ELECTRIC COMPANY	1,195
VESTAS WIND SYSTEMS A/S	714
WOBBEN PROPERTIES GMBH	678
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT	589
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	545
MITSUBISHI HEAVY IND LTD	427
GEN ELECTRIC	422
HITACHI LTD	334
HITACHI, LTD.	327

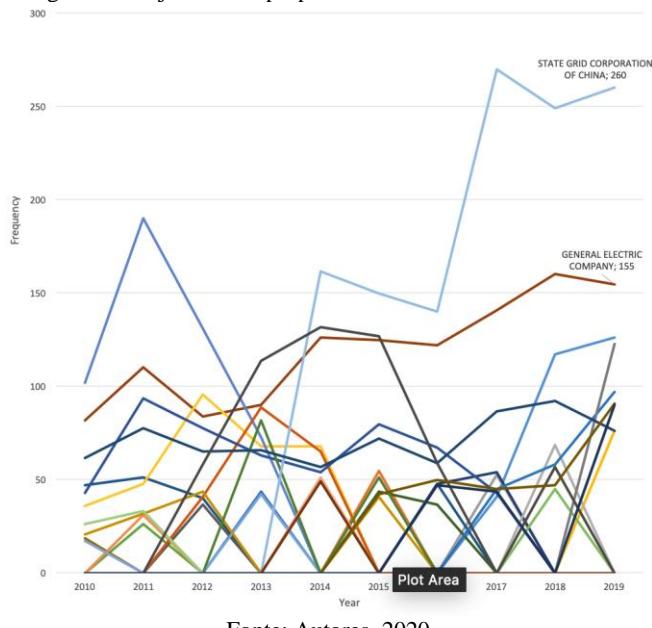
Ilustrando ano após ano, o website da OMPI, PatentScope, entrega uma série cronológicas de todos os proponentes, primeiro a lista dos que mais aplicaram nesses dez anos na Figura 2, e a Figura 3 foi construída para elucidar as informações obtidas, com isso é possível afirmar que estão surgindo novos candidatos como State Grid Corporation of China, que assumiu a primeira posição em 2014 e que se manteve na primeira colocação até o ano estudado.

Figura 2 –Maiores proponentes de 2010 a 2019 ano a ano
APPLICANTS



Fonte: Autores, 2020.

Figura 3 – Trajetória dos proponentes de 2010 a 2019 ano a ano



Fonte: Autores, 2020.

A Tabela 4 apresenta os resultados relacionados aos Países e/ou Escritórios que mais solicitam aprovação de patentes e revela que a China obteve a primeira posição na pesquisa de energia eólica no período buscado. A posição dos demais países indicam que esses dez países/escritórios estão a investir na pesquisa de energia eólica nos dez anos estudados.

Tabela 4 – Dez países/escritórios que mais propuseram de 2010 a 2019

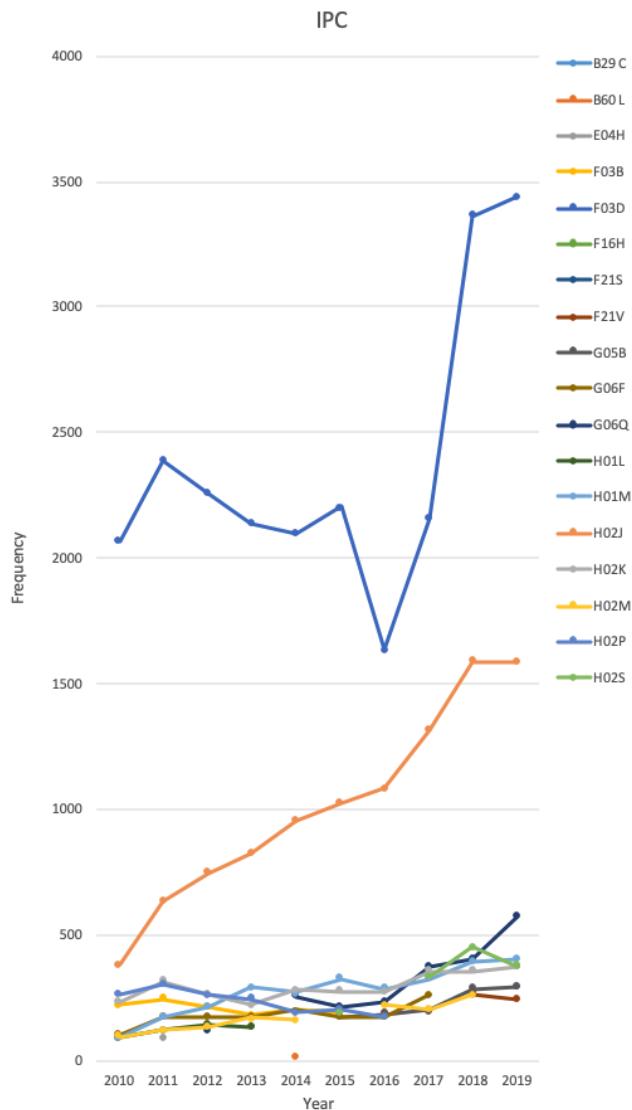
Country/Office	Frequency
China	28,862
United States of America	15,545
PCT	5,969
European Patent Office	5,961
Republic of Korea	3,968
Japan	1,815
Australia	1,698
Canada	1,358
India	591
United Kingdom	435

O código da Classificação Internacional de Patentes (IPC) é outra informação importante recuperada de documentos de patentes, uma vez que este código está relacionado com as diferentes áreas da tecnologia. Estes dados foram recuperados após o processamento das técnicas de mineração de texto propostas. Assim, no cenário eólico foi possível notar que a frequência de cada código e se ocorreram movimentações relevantes nos códigos ano a ano. Como revela a Tabela 5, que elucida os mais frequentes e a Figura 4, que olha para uma década inteira ano a ano:

Tabela 5 – IPCs que mais aparecem de 2010 a 2019

IPC	Frequency
F03D	23,769
H02J	10,141
H02K	2,952
H01M	2,776
G06Q	2,452
H02P	2,157
F03B	2,056
G06F	2,026
H02M	1,728
H02S	1,619

Figura 4 – Movimentação dos IPCs de 2010 a 2019 ano a ano



Fonte: Autores, 2020.

O código IPC F03D está relacionado com "motores eólicos", que abrange mecanismos para converter a energia eólica em energia mecânica útil e a transmissão de tal energia até ao seu ponto de utilização, trazendo então uma indicação do que estão investigando essa temática na década estudada.

IV. CONCLUSÃO

As energias renováveis deverão ser os principais ativos no século XXI. Na década 2010-2019, muitos pesquisadores e empresas investiram esforços e recursos para encontrar não só novas tecnologias, mas também alguns desenvolvimentos incrementais capazes de melhorar soluções relevantes e descobertas científicas em áreas importantes dos desenvolvimentos renováveis, tal como a energia eólica. Por conseguinte, este trabalho propôs uma análise da trajetória tecnológica em energia eólica, utilizando técnicas de mineração de texto em documentos de patentes concedidas e de pedido de patentes, recuperados da base de dados da OMPI de 2010 a 2019.

Os resultados obtidos a partir de patentes da OMPI, extraíndo particularmente as palavras mais frequentemente citadas em documentos eólicos, mostraram que os inventores e requerentes estão preocupados em resolver alguns problemas técnicos objetivos, tais como a concepção de pás de rotor eólico ou melhorar o seu desempenho aerodinâmico. Além disso, estas palavras frequentes revelaram que a palavra "control" está, na maioria dos casos, associada ao controle do ângulo de inclinação das pás. No desenvolvimento da energia eólica, o estudo também revelou os dez principais requerentes de patentes e que a State Grid Corporation of China e a General Electric Company são as principais empresas e serão provavelmente os principais desenvolvedores nos próximos anos.

Finalmente, a informação extraída das patentes revelou que os inventores estão a trabalhar em motores eólicos, ou seja, tecnologias que abrangem mecanismos para converter energia eólica em energia mecânica útil.

No futuro, os autores pretendem aplicar algumas técnicas de machine learning para melhorar as correlações entre as palavras e encontrar novas tendências tecnológicas em bases de dados de energias renováveis.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EIA. Renewable energy explained. 2019. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/renewable-sources/>>. Acesso em: 27 agosto. 2020

HAND, M. Maureen, et al. Renewable electricity futures study. volume 1. Exploration of high-penetration renewable electricity futures. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2012.

INFIELD, David; FRERIS, Leon. Renewable energy in power systems. John Wiley & Sons, 2020.

NEILL, Simon P., et al. Tidal range energy resource and optimization–Past perspectives and future challenges. *Renewable energy*, 2018, 127: 763-778.

NEWBERY, David, et al. Market design for a high-renewables European electricity system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 91: 695-707.

PENG, Feixiang, et al. Bilateral Coordinated Dispatch of Multiple Stakeholders in Deep Peak Regulation. *IEEE Access*, 2020, 8: 33151-33162.

PÍTSICA, Monique. **Energias Renováveis: o papel da Irena**. Appris Editora e Livraria Eireli-ME, 2015.

OLAJIRE, Abass A. The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 256: 102817.

Volume 16 – Nº 180 – Dezembro/2020.

WEISS, Sholom M.; INDURKHYA, Nitin; ZHANG, Tong. Fundamentals of predictive text mining. Springer, 2015.

VI. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE).

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO PEIXE-BOI-PA

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN THE BRAZILIAN AMAZON: A CASE STUDY IN THE PEIXE-BOI-PA RIVER BASIN

LUCIANA PINHEIRO SANTOS¹; SIMONE DE FÁTIMA PINHEIRO PEREIRA²; PEDRO MOREIRA DE SOUSA JUNIOR³; CLÉBER SILVA E SILVA⁴

1,3 - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA; 2 - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA; 4 - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO DO PARÁ – IFPA.

lpsantos14@gmail.com; simonefp@ufpa.br; pedro.junior@ufra.edu.br; cleber.silva@ifpa.edu.br.

Resumo - Os recursos hídricos da Amazônia, como a Bacia do rio Peixe-Boi, passaram a ser utilizados para escoamento de efluentes, tanto de origem doméstica como industrial. O objetivo deste trabalho foi efetuar a avaliação da qualidade da água da bacia do rio Peixe-Boi utilizando os parâmetros físico-químicos temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), cloretos, turbidez, sólidos dissolvidos totais, clorofila-a e Demanda Química de Oxigênio (DQO). A sonda multiparâmetro YSI6600 foi utilizada para as medidas diretas e o DQO foi analisado pela titrimetria conforme NBR 10357. Os valores médios dos parâmetros avaliados encontraram-se em conformidade com a Resolução nº 357/2005 do CONAMA para a maioria dos pontos amostrados.

Palavras-chave: Conservação, Recursos Hídricos, Meio Ambiente

Abstract - Water resources in the Amazon, such as the Peixe-Boi River Basin, started to be used for the disposal of effluents, both domestic and industrial. The objective of this work was to evaluate the water quality of the Peixe-Boi river basin using physical-chemical parameters temperature, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen (DO), chlorides, turbidity, total dissolved solids, chlorophyll-a and Chemical oxygen demand (COD). The multi-parameter probe YSI6600 was used for direct measurements and the COD was analyzed by titrimetry according to NBR 10357. The average values of the evaluated parameters were in accordance with CONAMA Resolution 357/2005 for most of the sampled points.

Keywords: Conservation, Water Resources, Environment

I. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, a humanidade considerou a água como um recurso inesgotável e a utilizou de forma inadequada e insustentável. No século XX, com a aceleração do crescimento populacional, o uso foi intensificado pelos diversos ramos de atividades, dentre elas, doméstica, agrícola e industrial (PIZAIA et al., 2017). Estes fatores levaram a constatação de que a água torna-se cada vez mais escassa, necessitando de uso racional e equilibrado, garantindo a sua conservação e sustentabilidade (VILLIERS, 2002).

O Brasil possui a maior disponibilidade hídrica do planeta, 13,8 % do escoamento médio mundial, tendo em território nacional a produção hídrica de 182.170 m³/s. Porém, a sua distribuição ocorre de forma irregular entre as regiões. Na região Norte está concentrado aproximadamente 70 % da água disponível para uso, onde habita apenas 7 % da população nacional; enquanto os 30 % restantes de água distribuem-se desigualmente pelo país, para atender a 93 % da população (GALINDO, 2004). Este grande manancial de recursos hídricos está ameaçado pela expansão desordenada que ocorre na região e pela falta de monitoramento de seus recursos. Sabe-se que os casos mais significativos, que contribuem para a poluição e contaminação dos cursos d'água na Amazônia e consequentemente ocasiona agravos à saúde humana é a ocupação humana, a atividade minerária e industrial (PEREIRA et al., 2020).

A interferência do homem é uma das causas de alteração da qualidade da água, seja por meio de uma forma concentrada, com a geração de efluentes domésticos ou industriais, seja por dispersão, com aplicação de insumos agrícolas e manejo inadequado do solo, contribuindo para a incorporação de compostos orgânicos e inorgânicos nos cursos d'água (SANTOS e SANTOS, 2019; SANTOS et al., 2017).

Para avaliar se a interferência humana ocasionou impactos em sistemas aquáticos deve-se caracterizar a qualidade da água e acompanhar o estado dos recursos hídricos e, assim verificar se as características físicas e químicas foram modificadas (OLIVEIRA et al., 2017; MEDEIROS et al., 2017; SILVA et al., 2019).

No início da ocupação urbana da região da microbacia do Rio Peixe-Boi, os rios eram utilizados apenas como fonte de recursos básicos como água, alimentação e transporte. Com o aumento populacional desordenado, os rios passaram a ser utilizados para escoamento de resíduos tanto de origem doméstica como industrial e ocasionando degradações deste recurso, tais como poluição dos cursos d'água, erosão das áreas de entorno, gerando riscos à saúde humana e à vida aquática (PEREIRA et al., 2016).

Em decorrência da importância, tanto em relação a seus diversos usos quanto à manutenção de qualidade e quantidade, os recursos hídricos devem ser monitorados, garantindo o seu aproveitamento com o mínimo de conflito.

Além disso, as propostas de desenvolvimento da região da microrregião do Rio Peixe-Boi nunca contemplaram a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente, principalmente, os recursos hídricos, daí a importância deste estudo.

II. METODOLOGIA

2.1 Localização

O município de Peixe-Boi pertence à Mesorregião do Nordeste Paraense e mais precisamente na microrregião Bragantina. Apresentam as seguintes coordenadas geográficas: 01°11'31" de latitude Sul e 47°18'44" de longitude a oeste de Greenwich, a uma altitude de 34 metros. Possui uma área de 450,29 km² (SILVA e LIMA, 2000). A localização do município de Peixe-Boi está mostrada na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Peixe-Boi.



A - Estado do Pará; **B** - Municípios de Peixe-Boi; **C** - Limites da microbacia hidrográfica do Rio Peixe-Boi.

Fonte: Adaptado de PEREIRA et al., 2016 e Google Earth maps.

A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi (Figura 2) encontra-se inserida na Sub-Bacia 32 da Bacia do atlântico - Trecho Norte-Nordeste e tem como principal drenagem o Rio Peixe-Boi, com cerca de 70 km de extensão. A nascente está localizada próxima ao município de Santo Antonio do Cumaru e caminha no sentido norte, indo desaguar no Rio Maracanã, próximo ao município de Porto Seguro.

2.2 Amostragem, acondicionamento e tratamento

O planejamento amostral foi realizado conforme preconizado pela WHO (1996). Foram escolhidos 28 pontos amostrais com o auxílio do Google Earth maps, baseados nos usos da água, natureza, área de influência da bacia e características da área de estudo, totalizando 84 amostras, nos meses de maio, junho e julho compreendendo o final do período chuvoso e início do período da estiagem amazônica. Uma garrafa de Van Dorn foi utilizada para a coleta da água superficial. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixa de poliestireno expandido (EPS) contendo gelo, de forma a manter a temperatura de aproximadamente 4 °C e transportadas para o Laboratório de Química Analítica e Ambiental da UFPA. As amostras, para a análise de DQO, foram filtradas à vácuo com membrana de 0,45 mm.

Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi



Fonte: Próprios autores

2.3 Análises

A temperatura, pH, condutividade elétrica, SDT, salinidade, cloretos, OD, turbidez e clorofila foram analisados com auxílio de uma sonda multiparâmetro YSI 6600 calibrada com diferentes soluções padrão. A DQO foi determinada pelo método de refluxo fechado – titulométrico, para digestão das amostras, foi utilizado um digestor da marca Hach, empregando-se como oxidante químico o dicromato de potássio.

2.4 Tratamento estatístico

Os resultados obtidos foram tratados utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2010, onde foram realizados os cálculos da estatística descritiva, correlação, cálculo anova e confecção dos gráficos.

III. RESULTADOS

3.1 - Estatística descritiva dos resultados.

3.1 Estatística descritiva dos resultados.

Os resultados de temperatura na microbacia do Rio Peixe-Boi estão apresentados na Figura 3. Os valores variaram de 24,93 a 31,29 °C com média de $26,84 \pm 1,53$ °C.

Em estudos realizados em outros rios amazônicos, foram registrados valores de temperatura com características semelhantes às médias obtidas neste trabalho, isto é, valores entre 25 e 30 °C (MIRANDA et al., 2009, PEREIRA et al., 2006).

No gráfico da Figura 4 estão mostrados os valores de pH das amostras de água que variaram entre 4,18 a 7,67 com média de $6,04 \pm 0,82$.

Tabela 1. Estatística descritiva dos resultados Físico-químicos nas águas da bacia do rio Peixe-Boi

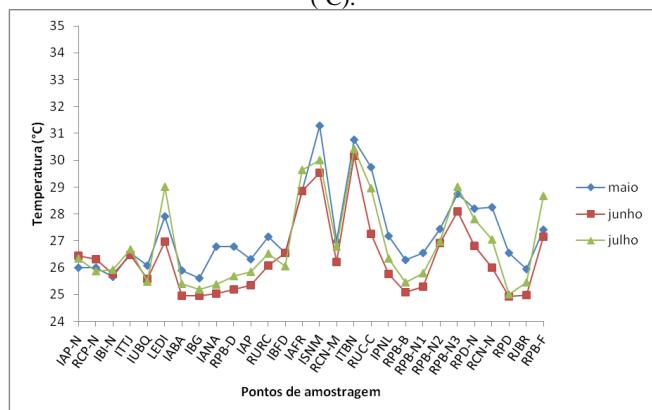
Estatística	Temp.	pH	OD (mg/L)	SDT (mg/L)	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
CONAMA 357/05	-	6,0 a 9,0	≥ 5	≤ 500	-
Média	26,84	6,04	6,89	61,48	97,47
Mediana	26,50	6,23	6,63	42,00	67,00
DP	1,53	0,82	2,26	56,28	90,04
Mínimo	24,93	4,18	1,33	16,00	5,10
Máximo	31,29	7,67	14,35	339,00	522,00
	Salin.	Cloreto	Turbidez	Clorofila	DQO
	(ppt)	(mg/L)	(UNT)	($\mu\text{g}/\text{L}$)	(mg/L)
CONAMA 357/05	$\leq 0,5$	≤ 250	≤ 100	≤ 30	-
Média	0,05	1,42	11,64	17,00	23,48
Mediana	0,03	0,02	3,84	3,00	8,16
DP	0,05	2,52	40,28	85,48	31,87
Mínimo	0,01	<0,001	<0,1	<0,1	<2,88
Máximo	0,34	12,72	358,52	562,40	155,33

Resultados em negrito estão em não conformidade com a Resolução CONAMA 357/05, Temp.=Temperatura, Cond.=Conduatividade, SDT=sólidos dissolvidos totais, Salin.=Salinidade, OD=Oxigênio Dissolvido, DQO=Demandas Química de Oxigênio.

Segundo Sioli (1957), o pH das águas na região amazônica das áreas pertencentes à Formação Barreiras, do Terciário, é muito ácido, pois em suas pesquisas ao longo da Estrada de Ferro de Bragança, no nordeste paraense, mediu o pH dos cursos d'água na parte ocidental da Zona Bragantina, os quais variaram entre 4,5 a 5,15, compatíveis com os valores obtidos neste trabalho.

Os valores de pH das águas superficiais da microbacia de Peixe-Boi podem refletir a influência das atividades antrópicas sobre as características do meio aquático, causadas principalmente, pelo despejo de esgoto doméstico e efluente industrial.

Figura 3. Variação da temperatura na microbacia do Rio Peixe-Boi ($^{\circ}\text{C}$).



Neste estudo, o oxigênio dissolvido (Figura 5) apresentou uma média de $6,89 \pm 2,26 \text{ mg/L}$, com um valor mínimo de $1,33 \text{ mg/L}$ na nascente do Rio Capanema (RCN-

N) onde observou-se grande presença de plantas aquáticas e valor máximo de $14,35 \text{ mg/L}$ no Rio Urucuri (RUCR).

Esses resultados são compatíveis com os de outros estudos realizados em rios da região amazônica que variaram de 1,0 a $7,16 \text{ mg/L}$ (MIRANDA et al., 2009; VASCONCELOS e SOUZA, 2008).

Figura 4. Variação do pH na microbacia do Rio Peixe-Boi.

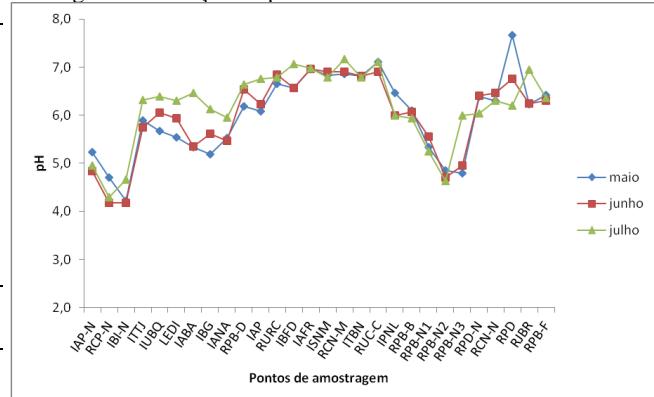
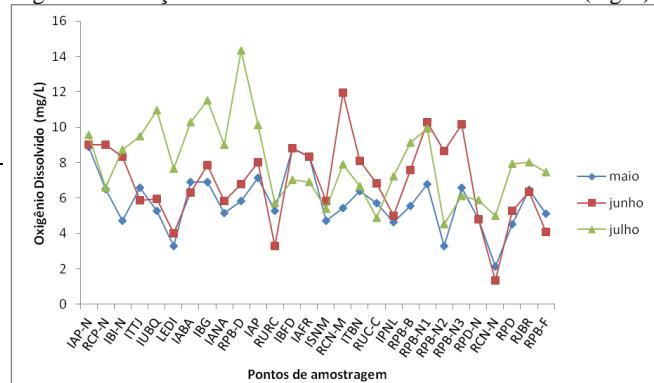


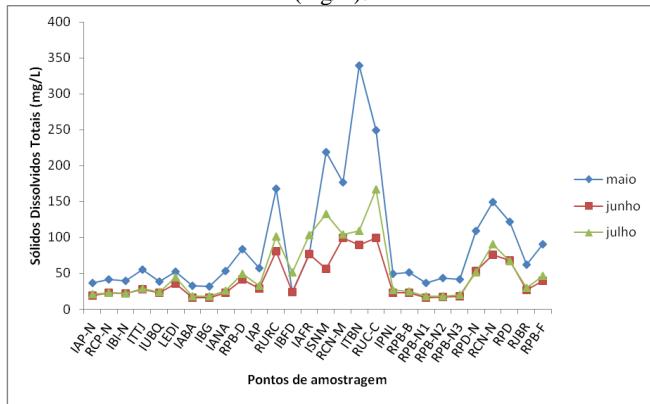
Figura 5. Variação do OD na microbacia do Rio Peixe-Boi (mg/L).



A concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) variou de 16,00 a 339,00 mg/L e média de $61,48 \pm 56,28$ nas amostras de águas coletadas como mostrado na Figura 6. O valor mais alto foi observado no Igarapé Tubinho (ITBN). Este valor alto pode ser devido a localização do ponto amostral, em área sujeita a despejos domésticos devido o aumento da urbanização da cidade de Capanema.

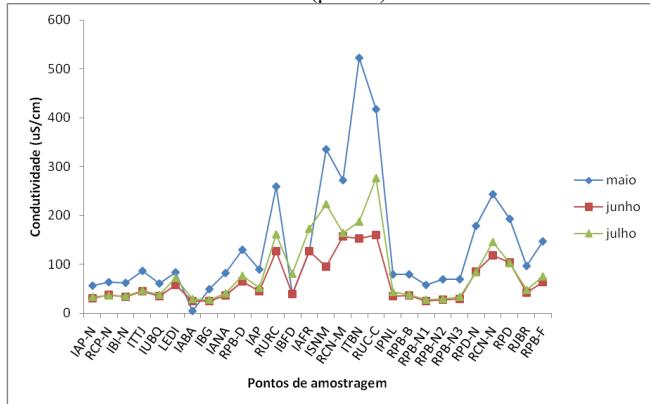
Os sólidos dissolvidos em média atendem à concentração máxima (500 mg/L) estabelecida pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA. E embora os resultados médios encontrados para os sólidos dissolvidos totais, estejam de acordo, ainda assim nos pontos em que se encontram elevados, podem ser prejudiciais à saúde humana devido a possível presença de substâncias dissolvidas neste corpo d'água.

Figura 6. Variação de SDT na microbacia do Rio Peixe-Boi (mg/L).



Em relação à condutividade (Figura 7), os valores obtidos estiveram no intervalo de 5,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no Igarapé Abaeté (IABA) a 522,0 $\mu\text{s}/\text{cm}$, no Igarapé Tubinho (ITBN) localizado no município de Capanema com média de $97,47 \pm 90,04 \mu\text{s}/\text{cm}$. Esta alta variação pode ser atribuída ao despejo industrial de alguns resíduos líquidos e sólidos.

Figura 7. Variação da condutividade na microbacia do Rio Peixe-Boi ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

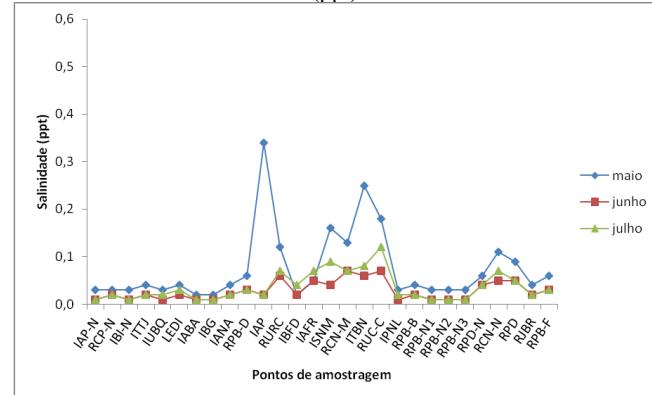


A condutividade variou muito em alguns pontos de coleta, que pode estar relacionada, principalmente, às descargas de esgoto doméstico na área, ressuspensão de sedimentos e também das baixas precipitações ocorridas neste período, não sendo suficiente para promover uma diluição dos sais na água.

Na Figura 8 estão apresentados os valores de salinidade para águas superficiais da microbacia do Rio Peixe-Boi com variações entre 0,01 e 0,34 ppt com média de $0,05 \pm 0,052$ ppt nos meses de maio, junho e julho correspondendo ao fim do período chuvoso e início do período de estiagem da região.

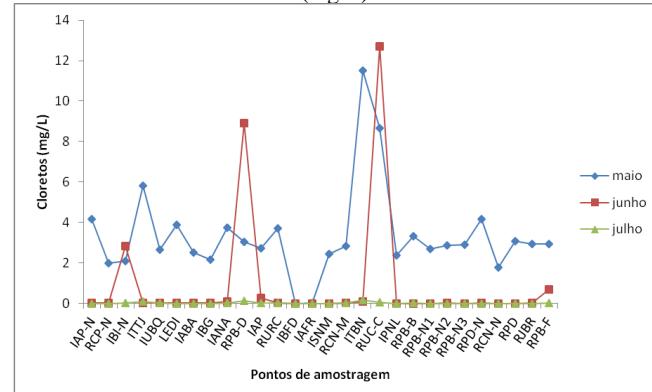
Os valores de salinidade variaram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. A concentração da salinidade máxima é de 0,5 ppt, para rios de água doce.

Figura 8. Variação da salinidade na microbacia do Rio Peixe-Boi (ppt).



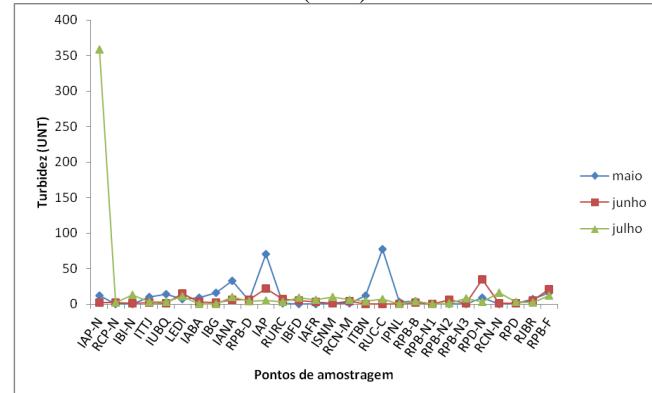
O teor de cloreto variou entre <0,001 a 12,72 mg/L como mostrado na Figura 9, com média de $1,42 \pm 2,52$ mg/L. Apesar da grande variação no teor de cloreto na microbacia do Rio Peixe-Boi, todos os valores ficaram bem abaixo do valor máximo permitido, que é de 250 mg/L, preconizado pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA para rios de classe 2 (BRASIL, 2005).

Figura 9. Variação de cloreto na microbacia do Rio Peixe-Boi (mg/L).



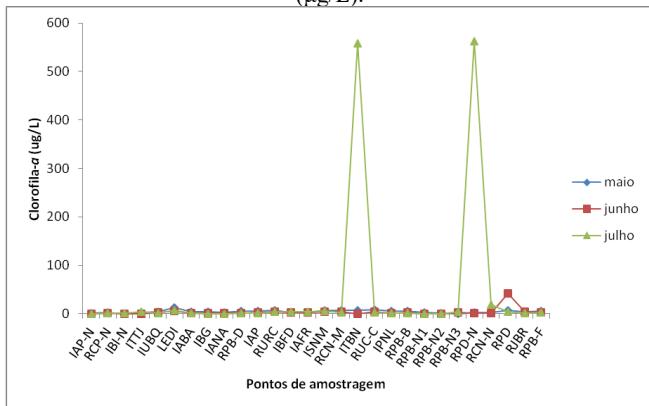
A turbidez das águas superficiais do Rio Peixe-Boi, no período chuvoso, variou de 0,1 UNT a 358,5 UNT com média de $11,64 \pm 40,28$ UNT, como mostrado na Figura 10.

Figura 10. Variação da turbidez na microbacia do Rio Peixe-Boi (UNT).



Os resultados das concentrações de clorofila-a das amostras de água dos rios e igarapés da microbacia do Rio Peixe-Boi estão mostrados na Figura 11.

Figura 11. Variação da clorofila-a na microbacia do Rio Peixe-Boi ($\mu\text{g/L}$).



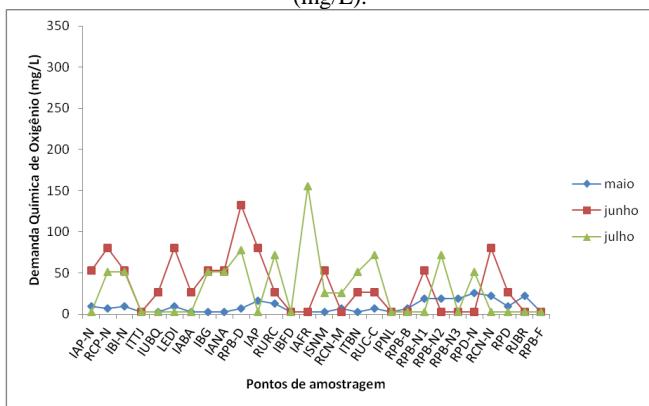
A média encontrada foi de $17,00 \pm 85,48 \mu\text{g/L}$, com uma variação de $<0,1$ a $562,40 \mu\text{g/L}$. Observou-se que o valor médio encontrado esteve abaixo do limite permitido pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA que é de no máximo $30 \mu\text{g/L}$ para rios de água doce classe 2. Os pontos do Igarapé Tubinho (ITBN) e nascente do Rio das Pedras (RPD-N) cujos valores foram $557,76$ e $562,40 \mu\text{g/L}$, respectivamente estiveram em não conformidade com a legislação brasileira.

Os valores encontrados na microbacia do Rio Peixe-Boi estão de acordo com o recomendado e também com alguns pesquisadores como PEREIRA et al. (2006) que encontraram valores médios de turbidez compatíveis com os deste estudo.

Na Figura 12 estão mostrados os resultados para DQO para as amostras de água coletadas na bacia do rio Peixe boi com valor mínimo $<2,88 \text{ mg/L}$ e máximo de $155,33 \text{ mg/L}$ com média de $23,48 \pm 31,87 \text{ mg/L}$.

Este resultado foi corroborado no estudo realizado por Scandolera et al. (2001), na avaliação de parâmetros químicos, microbiológicos e parasitológicos de águas de abastecimento e residiárias, no município de Jaboticabal, que encontraram valores de DQO que variaram de $0,0 \text{ mg/L}$ a 201 mg/L .

Figura 12. Variação do DQO na microbacia do Rio Peixe-Boi (mg/L).



3.2 - Resultados da correlação entre parâmetros

A correlação entre os parâmetros avaliados se encontram na tabela 2.

Tabela 2. Correlação entre os parâmetros

	Temp.	Cond.	SDT	Salinidade	OD
Temp.	1,000				
Cond.	0,652	1,000			
SDT	0,631	0,997	1,000		
Salinidade	0,459	0,774	0,778	1,000	
OD	-0,260	-0,329	-0,328	-0,253	1,000
Turbidez	0,008	0,004	0,000	0,094	0,086
Cloretos	0,211	0,501	0,514	0,443	-0,230
Clorofila	0,238	0,083	0,070	0,055	-0,060
pH	0,295	0,549	0,539	0,421	-0,070
DQO	-0,015	-0,015	-0,029	-0,049	-0,019
	Turbidez	Cloretos	Clorofila	pH	DQO
Turbidez	1,000				
Cloretos	0,024	1,000			
Clorofila	-0,033	-0,077	1,000		
pH	-0,104	0,104	0,090	1,000	
DQO	-0,106	-0,045	0,131	-0,026	1,000

Uma excelente correlação foi encontrada entre a condutividade e os sólidos dissolvidos totais (Figura 13).

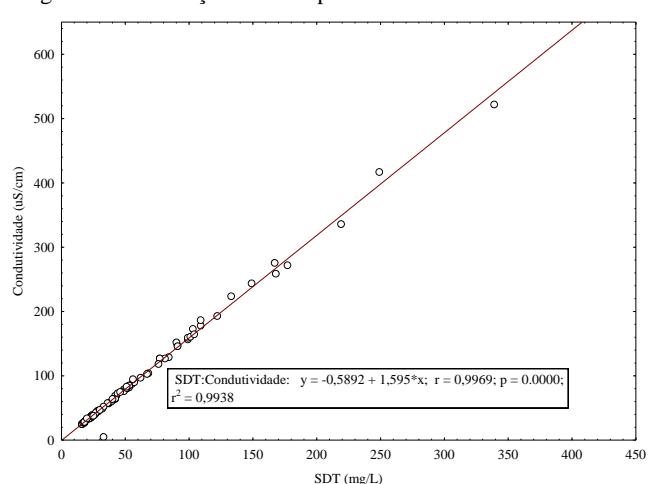
Observou-se que todos os pontos de amostragem que tiveram os valores de condutividade aumentados estão localizados no município de Capanema, região bastante industrializada e onde está situada uma fábrica de cimento e o matadouro local.

Esse comportamento foi semelhante ao observado com o SDT, cujos valores são praticamente constantes em toda a microbacia do Rio Peixe-Boi e aumenta, nos mesmos pontos observados para a condutividade.

Para Sampaio et al. (2007), que avaliou a correlação entre sólidos totais dissolvidos e a condutividade em águas, na obtenção de uma equação matemática, como a encontrada neste estudo (SDT:Condutividade: $y = -0,5892 + 1,595*x$) é possível estimar resultados com certa confiabilidade para SDT.

A condutividade além de sua excelente correlação com o SDT, também se correlacionou com a salinidade, cloretos e pH, mesmo comportamento apresentado pelo SDT que se correlacionou com a salinidade, cloretos e pH. A salinidade apresentou regulares correlações com o cloreto e pH.

Figura 13. Correlação entre os parâmetros Condutividade e SDT



Outras boas e regulares correlações foram encontradas para a temperatura e condutividade; temperatura e SDT; temperatura e salinidade, estas correlações se explicam devido à temperatura estar intimamente relacionada com a

dissolução de sais que por sua vez se correlacionam com os outros parâmetros.

3.3 Diferença entre os resultados Cálculo Anova fator simples

Os resultados encontrados para os parâmetros avaliados, nas três campanhas, nos meses de maio, junho e julho, foram comparados, através do cálculo Anova fator simples. Os resultados se encontram na Tabela 3.

Tabela 3. Resultado do Cálculo Anova fator simples para os parâmetros avaliados na bacia do rio Peixe-Boi

Parâmetro	F calculado	valor-P	F crítico
Temperatura	2,437412	0,093773	3,109311
Condutividade	5,878595	0,004131	3,109311
SDT	6,604777	0,002202	3,109311
Salinidade	7,388204	0,001129	3,109311
OD	7,886571	0,000742	3,109311
Turbidez	0,678472	0,510251	3,109311
Cloreto	18,19943	2,97E-07	3,109311
Clorofila	1,957924	0,147774	3,109311
pH	0,306931	0,736553	3,109311
DQO	5,279318	0,006996	3,109311

Valores em negrito a média difere significativamente F calculado > F crítico.

O cálculo Anova mostrou que os parâmetros condutividade, SDT, Salinidade, OD, cloreto e DQO, variam com o tempo da coleta e diferem significativamente entre si nos meses escolhidos para a realização do trabalho. Esta diferença entre as médias pode ser explicada pela diferença do período sazonal entre o final do período chuvoso (maio) e início do período de estiagem (julho).

IV. CONCLUSÃO

Através dos parâmetros avaliados neste estudo foi possível concluir que a qualidade da água da microbacia do rio Peixe-Boi se encontra preservada, na maioria dos pontos avaliados, com os parâmetros apresentando conformidade com a Resolução 357/05 do CONAMA. O estudo mostrou correlações entre parâmetros, cujas equações podem ser utilizadas em estudos futuros. Ocorreram muitas variações entre as médias dos parâmetros pesquisados nos meses escolhidos para a realização do estudo, com evidências de influência da sazonalidade. Esta pesquisa pode ser útil na gestão ambiental do município e no desenvolvimento de políticas públicas tendo em vista a preservação da bacia do rio Peixe-Boi. Através do conhecimento da variação dos parâmetros avaliados nos pontos onde foi feita a identificação da perda da qualidade da água, o gestor público poderá buscar, através de programas de monitoramento de impactos ambientais, as causas do aumento da poluição e propor alternativas para minimizar ou resolver o problema.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALINDO, E. F. A intersetorialidade como requisito para construção de uma Cidade Saudável: política de Saneamento e de Saúde no Recife (gestão 2001-2004) – estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano). Recife, UFPE, 2004.

MEDEIROS, A. C.; FAIAL, K. R. F.; FAIAL, K. C. F.; LOPES, I. D. S.; LIMA, M. O.; GUIMARÃES, R. M.; MENDONÇA, N. M. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Pará, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 123:156-164, 2017.

MIRANDA, R. G.; PEREIRA, S. F. P.; ALVES, D. T. V.; OLIVEIRA, G. R. F. Qualidade dos recursos hídricos da Amazônia – Rio Tapajós: avaliação de caso em relação aos elementos e parâmetros físico-químicos. *Revista Ambiente & Água*, 4(2):75-92, 2009.

OLIVEIRA, A. F. S.; SILVA, L. D. P.; SILVA, T. M.; SANTOS, L. P.; ROCHA, R. M.; FREITAS, K. H. G.; PEREIRA, S. F. P. Desenvolvimento do índice de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público-IPA para Amazônia. *Scientia Plena*, 13(1):1-9, 2017.

PEREIRA, B. W. DE F.; MACIEL, M. DE N. M.; OLIVEIRA, F. DE A.; ALVES, M. A. M. DA S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Rev. Ambiente & Água*, 11(2):1-14, 2016.

PEREIRA, S. F. P.; SANTOS, D. C.; SILVA, C. S.; CRUZ, E. S. Contaminação de recursos hídricos da Amazônia: estudo de caso na represa de Tucuruí-PA. *Revista Sodebras*, 15(169):135-140, 2020.

PIZAIA, M. G.; CAMARA, M. R. G.; ZAPPAROLI, I. D. O estágio atual da regulação dos recursos hídricos no Brasil. *Revista Sodebras*, 12(135):30-35, 2017.

SAMPAIO, S. C.; SILVESTRO, M. G.; FRIGO, E. P.; BORGES, C. M. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. *Irriga*, 12(4):557-562, 2007.

PEREIRA, S. F. P.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. C. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi - Barcarena, PA, Brasil, área impactada pela produção de alumínio. *Revista Ambiente & Água*, 2:62-82, 2006.

SCANDOLERA, A. J.; PALHARES, J. C.; JUNIOR, J. L.; AMARAL, L. A.; MENDONÇA, R. P.; OLIVEIRA, G. P. Avaliação de parâmetros químicos, microbiológicos e parasitológicos de águas de abastecimento da UNESP e residuária, no município de Jaboticabal, Estado de São Paulo. *Semina: Ciências Agrárias*, 22(1):83-91, 2001.

SILVA, A. M.; LIMA, L. C. **Caracterização fisiográfica da bacia do rio Peixe-Boi.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Belém: Universidade da Amazônia/Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, 2000, 52p.

SILVA, J. P.; MESQUITA, K. F. C.; PEREIRA, J. A. R.; SOUSA, R. R.; VARELA, A. W. P.; SOUSA, P. H. C.; SANTOS, R. M.; SANTOS, M. L. S. Índices de qualidade da água no sistema de captação de água da região amazônica (Brasil). *Scientia Plena*, 15(12):1-10, 2019.

SIOLI, H. Valores de pH de águas Amazônicas. *Boletim do museu paraense Emilio Goeldi. Geologia* 1:1-35, 1957.

VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga,

Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 6(2):305-324, 2011.

VILLIERS, M. de. **O ciclo hidrológico: quanta água existe e onde está armazenada?** In: VILLIERS, M. de. Água. Rio de Janeiro: Ediouro. 2002. p. 44-78.

WHO - Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Jamie Bartram and Richard Ballance (Eds). **United Nations Environment Programme and the World Health Organization, WHO**, 1996, 23p.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Química Analítica e Ambiental do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da UFPA e a UFRA.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

TEMAS TRANSVERSAIS DA QUÍMICA AMBIENTAL COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE ÁCIDOS E BASES

TRANSVERSAL THEMES OF ENVIRONMENTAL CHEMISTRY AS A PEDAGOGICAL TOOL FOR TEACHING ACIDS AND BASES

ERIVAN SOUSA CRUZ¹; SIMONE DE FÁTIMA PINHEIRO PEREIRA¹; CLÉBER SILVA E SILVA²;
EDSON JOSÉ PAULINO DA ROCHA³

1 - LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA E AMBIENTAL/INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
E NATURAIS/PPGQ-UFPA; 2 - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO/PROFCIAMB-IG-UFPA;
3 - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/PROFCIAMB-UFPA

erivansc@ufpa.br; simonefp@ufpa.br; cleber.silva@ifpa.edu.br; eprocha@ufpa.br

Resumo - A presente pesquisa teve como objetivo, utilizar temas transversais da Química Ambiental como ferramenta na melhoria do processo ensino-aprendizagem. O tema escolhido foi “Ácidos e Bases” e sua relação com o fenômeno ambiental da chuva ácida. A metodologia foi aplicada em turmas da disciplina química geral do curso de licenciatura em química. Foram utilizados questionários de sondagem durante aulas expositivas tradicionais e utilizando o tema transversal. Foi possível averiguar um aumento no número de acertos a perguntas objetivas de conteúdo aplicado antes e depois do emprego da metodologia alternativa em torno de 30 %. A maioria dos alunos respondeu que possui “grande interesse” pela disciplina química geral e a totalidade dos alunos concluiu que o uso dos temas ambientais pode auxiliar no processo ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Metodologia de ensino; química ambiental; chuva ácida

Abstract - This research aimed to use transversal themes of Environmental Chemistry as a tool to improve the teaching-learning process. The chosen theme was “Acids and Bases” and their relationship with the environmental phenomenon of acid rain. The methodology was applied to classes in the general chemical discipline of the degree course in chemistry. Polling questionnaires were used during traditional lectures and using the transversal theme. It was possible to verify an increase of around 30% in the number of correct answers to objective questions of applied content before and after the use of the alternative methodology. Most students answered that they have “great interest” in the general chemical discipline and all students concluded that the use of environmental themes can help in the teaching-learning process.

Keywords: Teaching methodology; environmental chemistry; acid rain.

I. INTRODUÇÃO

O ensino de química tem como objetivo a dar condições para o aluno identificar problemas observando os fatos, suscitar hipóteses, testá-las, confirmá-las e até abandoná-las quando necessário e tirar conclusões sozinho.

O aluno teria a aptidão de redescobrir o que a ciência impunha como verdade única compreendida então como método científico.

Muitos trabalhos educacionais indicam a necessidade de metodologias mais inovadoras e criativas para motivar os alunos à educação científica, especialmente no que se refere ao ensino da química (EILKS et al., 2013; HENARY et al., 2015). Isso significa levar em consideração as habilidades e experiências dos alunos.

A geração atual é frequentemente descrita como a geração líquida (NICODEM et al., 2020). Uma característica essencial desta geração é que ela não está mais intimamente ligada a formas tradicionais de comunicação baseada em texto. Os alunos muitas vezes se envolvem mais fortemente com recursos visuais e comunicação multimídia, com base em suas experiências com a Internet, YouTube, WhatsApp ou Instagram. Conseguir a atenção de alunos, que tem a sua disposição todos os recursos em um simples smartphone é extremamente difícil, por isso é necessário recorrer a metodologias alternativas que tornem o processo ensino-aprendizagem, mais atrativo para os alunos (ALJALOUD et al., 2019; SALEM, 2018).

O conflito entre o que se pode fazer em relação a estimular o interesse dos alunos em aulas nos dias atuais, com a massificação das ferramentas tecnológicas, tem sido abordado por vários autores (ROLT et al., 2014; ARUMUGAM et al., 2020), logo os cursos de formação de professores devem proporcionar aos alunos as condições de atuar neste novo cenário dinâmico e desafiador (PREDIGER et al., 2013).

O conceito de química está relacionado, com a vida de forma geral. Temas ligados ao meio ambiente se tornaram relevantes a partir da década de 80 e hoje em dia faz parte do cotidiano. A Química Ambiental é uma área muito ampla e interdisciplinar, fazendo parcerias com outras áreas. Diante do cenário mundial onde os problemas ambientais estão se tornando cada vez mais importantes, torna-se relevante, entender e buscar soluções para os desafios encontrados. Entre os temas ambientais que podem ser correlacionados com os conteúdos programáticos das disciplinas tratadas no curso de licenciatura em química se

encontra a chuva ácida que pode ser correlacionada com o tema “ácidos e bases” (OLIVEIRA et al., 2020).

Temas da área ambiental utilizando o cotidiano em sala de aula podem melhorar o processo ensino-aprendizagem, esta conclusão foi encontrada por outros autores que avaliaram metodologias alternativas para o ensino da química, provavelmente porque possibilita aos discentes construir conceitos a partir de fenômenos naturais observados empiricamente (SWAN e SPIRO, 1997).

Este trabalho teve como objetivo utilizar a temática ambiental para melhorar o processo ensino-aprendizagem no ensino de ácidos e bases.

II. METODOLOGIA

Tendo em vista o atendimento dos objetivos deste estudo, procedeu-se a avaliação da participação de alunos no processo de ensino/aprendizagem quando abordados os temas “Ácidos e Bases” e “Chuva Ácida”, considerados de especial interesse a observação das habilidades interpretativas verbais e visuais dos discentes; análise das observações do cotidiano que, por sua vez, foram registradas pelos discentes em questionários aplicados; mensuração do interesse pela disciplina, no âmbito da Química, quanto ao conteúdo a partir do debate sobre Química e Meio Ambiente; e seu potencial para o favorecimento do processo ensino/aprendizagem.

A pesquisa foi projetada para 30 alunos do curso de Licenciatura em Química - turmas 2016 e 2019 - do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará (UFPA), lançando mão de entrevistas semi-estruturadas. A avaliação dos resultados foi feita com o auxílio dos questionários que foram aplicados em 2 (duas) etapas distintas. Antes e após o uso da metodologia utilizando tema chuva ácida como tema transversal no auxílio ao conteúdo do tema “ácidos e bases”.

Quanto à natureza desta pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois tem como propósito a geração de novos conhecimentos para aplicações práticas e a solução de problemas específicos.

Quanto à abordagem do problema pode ser definida como quantitativa, porque podemos traduzir em números, opiniões e informações para classificar e analisar.

A metodologia de ensino proposta foi primeiramente a tradicional, utilizando plano de aula que foi confeccionado com base no programa da disciplina Química Geral, com a utilização do software Power Point, projetor e quadro branco. Em seguida foi utilizada a metodologia alternativa utilizando o tema transversal chuva ácida com explicações sobre o fenômeno ambiental. Também foram utilizados os mesmos recursos didáticos da aula tradicional. A avaliação da pesquisa foi realizada através de questionários e tratada pela estatística descritiva. Os resultados foram tratados e especificados em gráficos tipo pizza utilizando o programa Excel®.

III. RESULTADOS

3.1 - Aula utilizando a metodologia tradicional

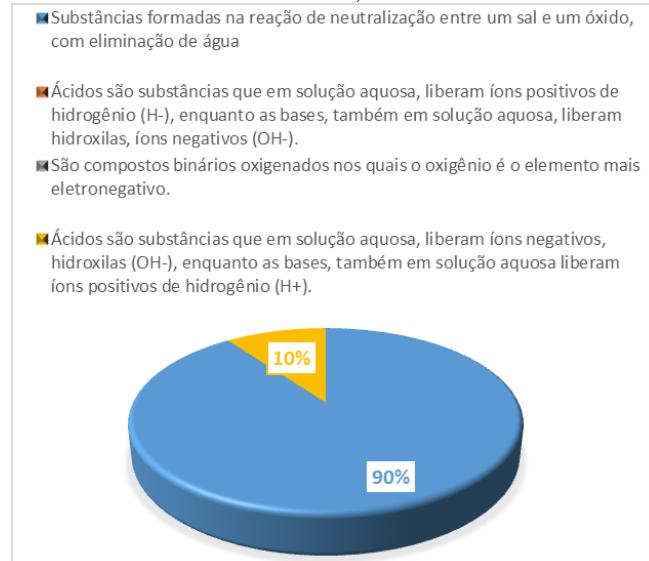
A aula utilizando a metodologia tradicional foi ministrada para as duas turmas com os seguintes conteúdos: definições de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis; pH e pOH; indicadores Ácidos e Básicos; Ácidos e Bases fortes e fracos; principais Ácidos e Bases; Óxidos Ácidos e Básicos; reações de neutralização foi ministrada aos alunos. Esta pré-

aula teve como objetivo identificar possíveis falhas ou distorções da metodologia proposta antes de aplicar a metodologia nas turmas de química geral.

As respostas obtidas no primeiro questionário (QI) nas turmas de 2016 e 2019, após aula tradicional, estão apresentadas nas Figuras de 1 a 6.

Através da análise das respostas a pergunta: Segundo Arrhenius, qual a definição de Ácidos e Bases? A maioria de alunos da turma de 2016 (90 %) (Figura 1) afirmou que “Ácidos e Bases” são substâncias formadas na reação de neutralização entre um sal e um óxido, com eliminação de água. A resposta está incorreta. Já na turma de 2019 a percentagem de erro foi de apenas 15 %. A discrepância entre a percentagem de erros na turma de 2016 reflete a falta de interesse na aula tradicional, provavelmente pela sua ineficácia entre alunos veteranos que preferem, na hora da aula, ficar manipulando o celular, ou em conversas paralelas.

Figura 1. Resultado da primeira pergunta do questionário I: Segundo Arrhenius qual a definição de Ácidos e Bases? (Turma 2016)



Entre os alunos calouros de 2019 a percentagem de acertos foi elevada (85 %), talvez por ainda conservarem o interesse na vida acadêmica e manterem o respeito pelas regras de boa conduta em sala de aula (Figura 2).

Para a segunda pergunta: Qual a principal característica dos Ácidos e Bases? Para a resposta a esta pergunta foi possível verificar que 50 % dos alunos de 2016 (Figura 3) optaram pela alternativa que afirma serem os ácidos e bases bons condutores de electricidade. Trata-se da opção correta, pois, em solução aquosa, formam e liberam íons que, em estado líquido, são bons condutores.

Na turma de 2019 (Figura 4) a percentagem de acerto foi de 40 %, mostrando uma redução de 10 % em relação a turma de 2016.

Na terceira pergunta do questionário sobre indicadores, 100 % dos alunos nas duas turmas optaram pela alternativa correta que afirma que indicadores são “substâncias que apresentam a capacidade de mudar de cor, na presença de soluções ácidas e de soluções básicas”. Exemplo: Fenolftaleína. Esta foi a única pergunta, após a aula tradicional, onde houve 100% de acertos, indicando que a parte da aula relativa ao tema indicadores foi bem compreendida pela turma.

Figura 2. Resultado da primeira pergunta do questionário I: Segundo Arrhenius qual a definição de Ácidos e Bases? (Turma 2019)

- Substâncias formadas na reação de neutralização entre um sal e um óxido, com eliminação de água
- Ácidos são substâncias que em solução aquosa, liberam íons positivos de hidrogênio (H^-), enquanto as bases, também em solução aquosa, liberam hidroxilas, íons negativos (OH^-).
- São compostos binários oxigenados nos quais o oxigênio é o elemento mais eletronegativo.
- Ácidos são substâncias que em solução aquosa, liberam íons negativos, hidroxilas (OH^-), enquanto as bases, também em solução aquosa liberam íons positivos de hidrogênio (H^+).

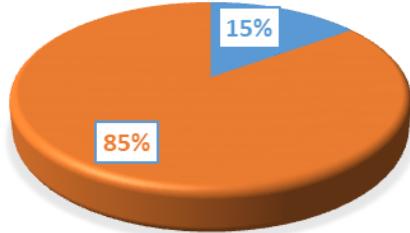


Figura 3. Resultado da segunda pergunta do questionário I: Qual a principal característica dos Ácidos e Bases? (Turma 2016)

- Não são bons condutores de eletricidade.
- Possuem sabor azedo ou cáustico.
- Possuem sabor adstringente.
- São bons condutores de eletricidade.

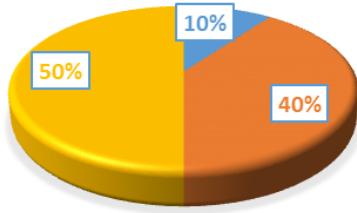
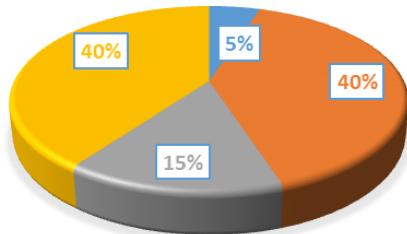


Figura 4. Resultado da segunda pergunta do questionário I: Qual a principal característica dos Ácidos e Bases? (Turma 2019)

- Não são bons condutores de eletricidade.
- Possuem sabor azedo ou cáustico.
- Possuem sabor adstringente.
- São bons condutores de eletricidade.



Para a quarta pergunta “Qual o nome dos compostos orgânicos do grupo dos flavonoides presentes em alguns produtos naturais, como açaí e a beterraba, que podem ser

usados como indicadores Ácidos e Bases?” 50 % dos alunos da turma de 2016 optaram pela alternativa “Antocianina”, que seria a resposta correta (Figura 5).

Na turma de 2019 (Figura 6), a exemplo do que aconteceu para a segunda pergunta, houve uma redução de 10 %. Este comportamento da turma dos calouros em relação a dos veteranos, pode refletir uma falta de base trazida do ensino médio, em relação aos conceitos fundamentais da química.

Figura 5. Resultado da quarta pergunta do questionário I: Qual o nome dos compostos orgânicos do grupo dos flavonoides presentes em alguns produtos naturais, como açaí e a beterraba, que podem ser usados como indicadores Ácidos e Bases? (Turma 2016)

- Trietanolaminas. ■ Antocianinas. ■ Fenolftaleína. ■ Valina.

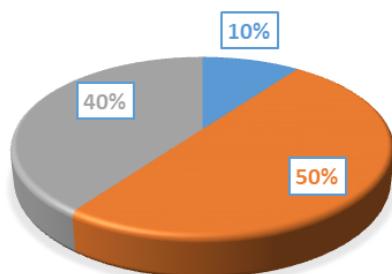
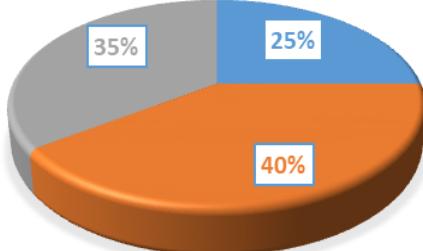


Figura 6. Resultado da quarta pergunta do questionário I: Qual o nome dos compostos orgânicos do grupo dos flavonoides presentes em alguns produtos naturais, como açaí e a beterraba, que podem ser usados como indicadores Ácidos e Bases? (Turma 2019)

- Trietanolaminas. ■ Antocianinas. ■ Fenolftaleína. ■ Valina.



Os resultados apresentados após a aula tradicional de alguma maneira refletem todo o conflito existente no processo ensino-aprendizagem utilizando uma metodologia antiga e desconectada do mundo globalizado, tecnológico e midiático que vivemos na atualidade.

Foi possível observar que a aula tradicional, não despertou o interesse da turma para o assunto abordado, inclusive foi observado que alguns alunos ficavam conversando ou utilizando o celular, desviando constantemente a atenção da aula. A postura dos alunos foi de apatia, não havendo manifestações com dúvidas ou outra forma de participação na aula tradicional.

3.2 - Aula utilizando a metodologia com tema transversal chuva ácida

Na segunda parte do trabalho foi ministrada a aula sobre Chuva Ácida correlacionando seu conteúdo com o tema “ácidos e bases”. Após a aula, aplicou-se um segundo questionário (QII) sobre o fenômeno ambiental da “Chuva Ácida”.

As respostas objetivas dos alunos das turmas de 2016 e 2019, após aula utilizando os temas transversais, estão apresentadas nas Figuras de 7 a 10.

Na primeira pergunta do segundo questionário, a maioria dos alunos nas duas turmas (80 % na turma de 2016 e 70 % na turma de 2019) optou pela alternativa correta que afirma que a formação e dissociação do ácido sulfúrico se dá a partir da reação do trióxido de enxofre gasoso ($\text{SO}_3(\text{g})$) e da água (H_2O) presentes na atmosfera é descrita pela reação $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$; $\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$ (Figuras 7 e 8).

Figura 7. Resultado da primeira pergunta do questionário II: Como ocorre a formação e dissociação do ácido sulfúrico a partir da reação do trióxido de enxofre gasoso ($\text{SO}_3(\text{g})$) e da água (H_2O) presentes na atmosfera? (Turma 2016)

- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$; $\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
- $\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$
- $\text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq})$; $\text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
- $\text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq})$

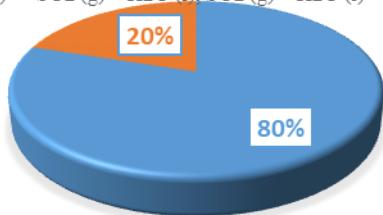
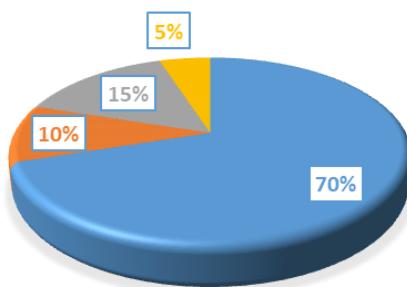


Figura 8. Resultado da primeira pergunta do questionário II: Como ocorre a formação e dissociação do ácido sulfúrico a partir da reação do trióxido de enxofre gasoso ($\text{SO}_3(\text{g})$) e da água (H_2O) presentes na atmosfera? (Turma 2019)

- $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$; $\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
- $\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq})$
- $\text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq})$; $\text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
- $\text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$; $\text{SO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 (\text{aq})$



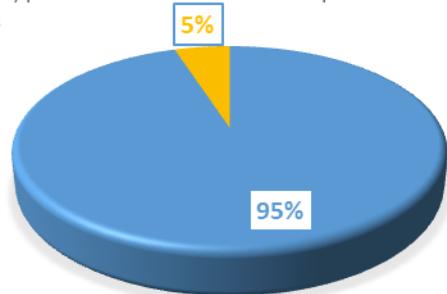
Em relação à segunda pergunta, foi possível verificar que a quase totalidade dos alunos (100% na turma de 2016 e 95 % na turma de 2019), optou pela alternativa correta, à pergunta sobre a neutralização das águas naturais, qual seja, “através da calagem, que é o processo onde se adiciona carbonato de cálcio (CaCO_3) nas águas do rio” (Figura 9).

Interessante observar que mesmo sem nunca terem entrado em contato com a disciplina Química Ambiental, os alunos entenderam perfeitamente o fenômeno da

neutralização aplicado a lagos atingidos pela acidez, causada pela Chuva Ácida.

Figura 9. Resultado da segunda pergunta do questionário II:A água de um lago em condições naturais tem o pH em torno de 6,5-7,0, o pH em torno de 5,5 já pode matar larvas, pequenas algas e insetos, prejudicando também os animais que dependem desses organismos para se alimentar. Como se realiza a neutralização das águas ácidas de rios? (Turma 2019)

- Através da calagem, que é o processo onde se adiciona carbonato de cálcio (CaCO_3) nas águas do rio.
- Através da Desinfecção, eliminação dos microorganismos a partir da aplicação do cloro
- Através da Coagulação, para retirar as impurezas que se encontram em suspensão fina, utiliza-se o sulfato de alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Através da Floculação, os floculadores matêm a água em movimento, provocando a colisão entre as partículas de impurezas existentes

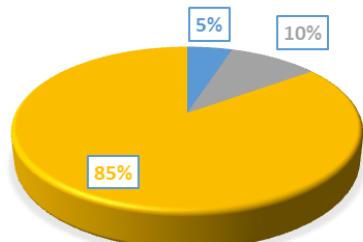


A totalidade dos alunos de 2016 optou pela alternativa correta na terceira pergunta que afirma “que os ácidos formados pela reação dos gases, como SO_x e NO_x , reagem na atmosfera com a água e precipitam como Chuva Ácida, retirando dos solos os nutrientes tornando o solo menos fértil e prejudicando o crescimento das plantas”.

Já na turma de 2019 a percentagem de acertos diminuiu 15 % (Figura 10). Ao analisar estas respostas percebe-se que mesmo utilizando a aula tradicional, somente com a introdução de temas transversais e com a associação de casos reais do cotidiano, é possível chegar à melhoria do processo ensino-aprendizagem.

Figura 10. Resultado da terceira pergunta do questionário II: Explique de que maneira os ácidos formados pela emissão de gases, com o SO_x e NO_x , podem influenciar na fertilidade dos solos (Turma 2019).

- Os ácidos formados pela reação dos gases, como SO_x e NO_x , reagem na atmosfera com a água e precipitam como chuva, tornando os solos mais férteis e favorecendo o crescimento das plantas
- Os ácidos formados pela reação dos gases, como SO_x e NO_x não influenciam na fertilidade dos solos
- Os ácidos formados pela reação dos gases, como SO_x e NO_x , reagem na atmosfera com a água e precipitam como chuva ácida, retirando dos solos todas as impurezas e formas de poluição
- Os ácidos formados pela reação dos gases, como SO_x e NO_x , reagem na atmosfera com a água e precipitam como chuva ácida, retirando dos solos os nutrientes tornando o solo menos fértil e prejudicando o crescimento das plantas



3.3 - Comparação entre a aula utilizando a metodologia tradicional e a aula utilizando tema transversal da chuva ácida

A comparação dos resultados obtidos na turma de licenciatura em química de 2016 e de 2019 está mostrada na Tabela 1.

Como se pode observar, a média encontrada de acertos após a aula tradicional foi de 50 % na turma de 2016, enquanto que a média de acertos após a aula utilizando tema transversal da química ambiental foi de 93,3 % um aumento de 43,3 %. Na turma de 2019 o aumento de acerto foi de 17 %, uma redução de 2,5 vezes.

Tabela 1. Percentual de acertos após a aula tradicional e utilizando o tema transversal da química ambiental

Aula Tradicional QI (%)		
Questões	Turma 2016	Turma 2019
1	0	85
2	50	40
3	100	100
4	50	40
Média de acertos	50	66,3

Aula utilizando tema transversal QII (%)		
Questões	Turma 2016	Turma 2019
1	80	70
2	100	95
3	100	85
Média de acertos	93,3	83,3

QI - Questionário I; QII - Questionário II

Como pode ser observado nos resultados encontrados, quando se compara a percentagem de acertos das questões objetivas, ocorre um aumento de duas vezes no percentual de acertos, quando se usa temas transversais e alternativas metodológicas.

Houve um comportamento mais ou menos semelhante em relação à percentagem de acertos, com exceção da primeira pergunta que mostrou um comportamento totalmente discrepante. Em termos de média total de acertos houve um aumento de 16,3 % entre as turmas e uma média total de acertos de 58,1 % após a aula tradicional. Após a aula com temas transversal houve uma quase uniformização de acertos com uma redução de 10 % de acertos na turma de 2019 e uma média total de 88,3 %, um aumento de 30,2 % em relação aos acertos após aula tradicional.

3.4 - Percepção dos alunos em relação ao processo ensino-aprendizagem a após aula utilizando a metodologia tradicional e a aula utilizando tema transversal da chuva ácida

A segunda parte dos questionários (QI e QII) versou sobre a percepção dos alunos em relação ao processo ensino-aprendizagem após a aula tradicional e após a aula utilizando tema transversal. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

80 % dos alunos da turma de 2016 e 2019 responderam que o conteúdo é relevante e aplicável ao cotidiano. 20 % dos alunos, nas duas turmas responderam não haver utilidade nas aulas de Química. Estas respostas revelam que os alunos reconhecem a importância das aulas de química para o entendimento dos fenômenos que ocorrem no cotidiano e que esta pode ser uma ferramenta didáctico-

pedagógica alternativa para a melhoria da metodologia de ensino da disciplina Química Geral.

90 % dos alunos nas duas turmas responderam que possuem “pouco” interesse pela disciplina, que demonstra que existe um problema no processo ensino-aprendizagem que precisa ser identificado.

Pela análise das respostas dos alunos, ficou claro que existe uma fraca percepção, de forma geral, em relação aos problemas apresentados no uso da metodologia tradicional.

Tabela 2. Percepção dos alunos após a aula tradicional e utilizando o tema transversal da química ambiental

Questões	Aula Tradicional QI (%)		Turma 2016	Turma 2019
	Turma 2016	Turma 2019		
Como define o aprendizado que tem obtido nas aulas de Química Geral? Resposta da maioria Relevante	80	80		
Qual seu interesse pela disciplina Química Geral? Resposta da maioria Pouco Interesse	90	90		
O que deveria ser melhorado nas aulas de Química Geral? Resposta da maioria da turma 2016 Nada	100	5		
O que deveria ser melhorado nas aulas de Química Geral? Resposta da maioria da turma 2019 Definições teóricas	0	50		
Aula utilizando tema transversal QII (%)				
Questões	Turma 2016	Turma 2019	Turma 2016	Turma 2019
O que você achou do uso do tema Chuva Ácida para o trabalho de conteúdo dos Ácidos e Bases? Resposta da maioria Relevante	100	95		
Qual seu interesse pela disciplina química geral quando os temas abordam questões ambientais? Resposta da maioria Grande interesse	90	95		
Você acha que o conteúdo de química geral pode ser auxiliado pelo uso de temas ambientais? Resposta da maioria Sim	100	100		

QI - Questionário I; QII - Questionário II

100 % dos alunos avaliados na turma de 2016 responderam que nada precisa ser alterado nas aulas de química, mostrando que não percebem os problemas, ou não tem interesse em resolvê-los. Esta foi uma grande surpresa já que existe uma contradição entre as respostas dadas anteriormente, tanto em relação ao conteúdo, como em relação à percepção do processo.

Já na turma de 2019 apenas 5 % responderam que nada deveria ser mudado e a maioria (50 %) achou que é necessário mudar as definições teóricas da disciplina (Figura 11).

Como a turma 2019 é uma turma de calouros, talvez ainda tenha a visão crítica esperançosa que algo pode ser mudado, enquanto que na turma de 2016, esta percepção já tenha se alterado para uma desilusão quanto às mudanças metodológicas nas disciplinas.

Em relação à segunda parte do questionário II (QII) que tratou das perguntas relativas à percepção dos alunos quanto à metodologia proposta após aula utilizando tema transversal foi possível verificar que houve uma mudança no

interesse dos alunos, quando percebem que o assunto é aplicável no entendimento do conteúdo.

Figura 11. O que deveria ser melhorado nas aulas de Química Geral? (Turma 2019)



Quando se perguntou “O que você achou do uso do tema Chuva Ácida para o trabalho de conteúdo dos Ácidos e Bases”? A maioria dos alunos, nas duas turmas, respondeu “relevante”. Ficou demonstrado que o uso do tema da Química Ambiental auxiliou no interesse dos alunos pelo tema abordado, mesmo quando este tema foi dado de forma tradicional utilizando os recursos básicos. A maioria dos alunos respondeu que possuem “grande interesse” pela disciplina química geral quando os temas abordam questões ambientais. Este fato demonstra que a contextualização dos conteúdos, possibilitando ao aluno uma reflexão acerca dos fenômenos observados, possibilitando ao discente a construção dos conceitos para além da simples memorização, induz ao maior envolvimento nas aulas, otimizando o processo de aprendizagem, o que é fundamental no na formação dos futuros docentes de química.

IV. CONCLUSÃO

No presente estudo, a maioria dos alunos consultados, nas duas turmas, avaliou que a oferta de temas localizados na intersecção entre a Química e o Meio Ambiente favorece o aprendizado e auxiliam na compreensão do conteúdo. Com estes resultados, foi possível validar as hipóteses, pois tanto com as respostas objetivas quanto com as respostas subjetivas, os alunos deram o retorno esperado, que foi de aprovação da inserção do tema transversal.

Os resultados esperados guardaram correspondência com os resultados obtidos. A compreensão dos conceitos de Ácidos e Bases se beneficiou, amplamente, da associação com a Chuva Ácida. A Química deixou de parecer “irrelevante”, “coisa de especialista” e “prática restrita ao laboratório” para se tornar uma disciplina mais acessível e de interesse comum.

As aulas expositivas tradicionais, simplesmente ocupadas com a entrega não imersiva e interativa do conteúdo, não são uma garantia de compreensão dos conceitos; pelo contrário, favorecem o entendimento de que a Química é pouco relevante para cidadãos comuns, sendo de interesse restrito àqueles pesquisadores envolvidos entre tubos de ensaio, pipetas e buretas. Quando se introduz temas relevantes do dia-a-dia dos alunos, pode tornar-se uma área de fácil aceitação e entendimento quando se percebe que a Química está em tudo que nos cerca e faz parte do nosso

cotidiano e do meio ambiente que nos cerca, não se restringindo apenas a simples memorização de conceitos e fórmulas e sim como uma ciência que permite o entendimento e a interpretação do mundo que nos cerca, possibilitando ao indivíduo uma maior interação com os fenômenos e até uma interação positiva com o meio ambiente, levando a uma formação integral, responsável e comprometida com a utilização da ciência em prol do bem comum.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALJALOUD, A.; BILLINGSLEY, W.; KWAN, P. Factors that influence teachers' decisions to use smartphone clicker apps to enhance teacher-student interactions in university classrooms in Saudi Arabia. *Journal Learning: Research and Practice*, 5(1):67-86, 2019.
- ARUMUGAM, P. A/L; TALIB, C. A.; ALIYU, F. Teaching and Learning Chemistry Using Smartphones. *Innovative Teaching and Learning Journal*, 4 (1), 18-28, 2020.
- EILKS, I.; PRINS, G. T.; LAZAROWITZ, R. How to organize the chemistry classroom in a student active mode. In: I. Eilks & A. Hofstein (eds), *Teaching Chemistry - A Studybook* 183-212, 2013.
- HENARY, M.; OWENS, E. A.; TAWNEY, J. G. Creative reporting in undergraduate organic chemistry laboratory inspires nonmajors. *Journal of Chemical Education*, 92:90-95, 2015.
- NICODEM, M. F. M.; SILVA, G. M.; NICODEM, L. E. M. Redes sociais na escola do campo à luz de Bauman e da modernidade líquida: percursos e fronteiras. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 6(3):44-68, 2020.
- OLIVEIRA, R. C. B.; SILVA, I. S.; MELO, C. C. Implicações do uso de situação-problema no ensino básico para compreensão de fenômenos associados à chuva ácida. *Revista Ciências & Ideias*, 11(1):1-15, 2020.
- PREDIGER, S.; RENK, N.; BÜCHTER, A.; GÜRSOY, E.; BENHOLZ, C. Family background or language disadvantages? Factors for underachievement in high stakes tests. In A. LINDMEIER, e A. HEINZE (Ed.), *Proceedings of the 37th conference of the international group for the psychology of mathematics education*. 49-56, 2013.
- ROLT, V. A.; BARTOLOTTO, E.; DALLABONA, K. G. A utilização de metodologias diferenciadas no ensino de ciências e biologia em duas escolas da rede pública do município de Criciúma. *Maléutica*, 1(1):123-138, 2014.
- SALEM, H. *Libyan lecturers' perceptions of the use of technology in classrooms to support teaching english as a foreign language: a case study in a Libyan University*. Doctoral Thesis, University of Huddersfield, 2018, 199p.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LAQUANAM e ao PROFCIAMB da UFPA.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

MODELAGEM E VALIDAÇÃO DE LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO FLUVIAL – ESTUDO DE CASO

MODELING AND VALIDATION OF FLUVIAL BATIMETRIC SURVEYS - CASE STUDY

CACIO DA SILVA IRANZO¹; GUSTAVO DA COSTA BENETTI¹; HEBER SANTOS DE OLIVEIRA¹;
 ROOSEVELT DE LARA SANTOS JR¹

1 – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

cacio.iranzo@ufrgs.br; gustavo.benetti@ufrgs.br; heber.oliveira@ufrgs.br; rooseveltdelara@ufrgs.br

Resumo – Um levantamento batimétrico pode ser simplificado em duas tarefas básicas: medir profundidades da superfície da água até o fundo, e localizar a posição em que essas chamadas sondagens foram feitas. O método com que é executada a batimetria depende da situação e recursos disponíveis, mas basicamente se divide em métodos diretos e indiretos. O presente artigo consiste na modelagem de dados obtidos através de metodologias indiretas de levantamento batimétrico, utilizando ecobatímetros com tecnologias multifeixe e monofeixe, abrangendo a filtragem e geração das respectivas superfícies batimétricas na área portuária da futura Patromoria da Capitania Fluvial de Porto Alegre-RS. A validação dos referidos levantamentos foi realizada pela comparação dos dados batimétricos realizados com metodologia direta, utilizando grava, considerando as regiões comuns a cada método de levantamento.

Palavras-chave: Batimetria. Filtragem. Modelagem. Validação.

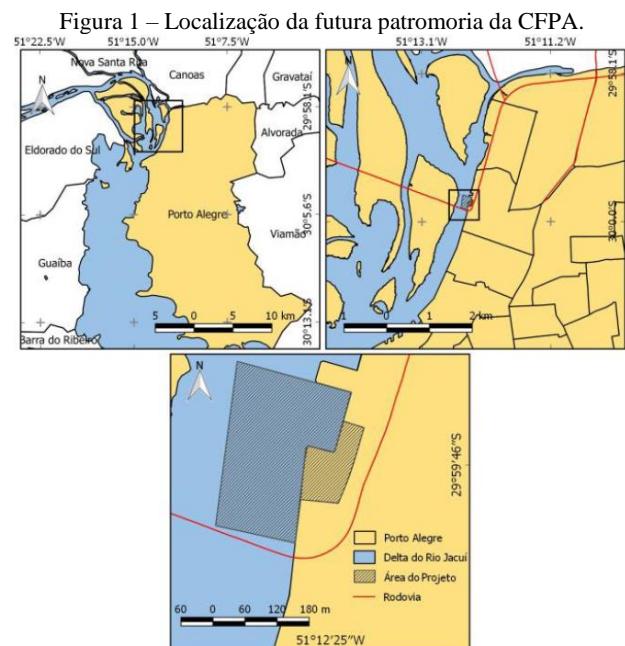
Abstract - A bathymetric survey can be simplified in two basic tasks: measuring depths from the surface of the water to the bottom, and locating the position where these so-called soundings were made. The method with which the bathymetry is performed depends on the situation and available resources, but basically it is divided into direct and indirect methods. This article consists of modeling data obtained through indirect bathymetric survey methodologies, using echo sounders with multibeam and single beam technologies, covering the filtering and generation of the respective bathymetric surfaces in the port area of the future vessel parking of Brazilian Navy. The validation of the referred surveys was carried out by comparing the bathymetric data performed with direct methodology, using weight, considering the regions common to each survey method.

Keywords: Bathymetry. Filtering. Modeling. Validation.

I. INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil (MB) é a parcela mais antiga das Forças Armadas e que tem como propósito maior manter a soberania do país nas águas marítimas e fluviais. Dentre as diversas atividades relacionadas à MB, estão elencadas contribuir para a segurança do tráfego aquaviário, a prevenção da poluição hídrica e a salvaguarda da vida humana no mar, sendo estas de responsabilidade das Agências, Delegacias e Capitanias dos Portos sob supervisão da Diretoria de Portos e Costas (DPC) da MB.

Patromoria é especificamente um departamento da MB que consiste no local de atracação das embarcações da Capitania e/ou Delegacia dos Portos de determinado estado ou município. No estado do Rio Grande do Sul a Capitania Fluvial de Porto Alegre (CFPA), sem sede própria, é subordinada ao Comando do 5º Distrito Naval, localizado na cidade de Rio Grande. O Comando do 5º Distrito Naval juntamente com o Capitão dos Portos da CFPA, buscaram uma alternativa para solucionar o problema da sede própria. Após negociações, envolvendo a antiga Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) atual Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG), subordinada à Secretaria de Transportes do Estado do Rio Grande do Sul, e a Capitania Fluvial de Porto Alegre, foi assinado em outubro de 2016, o Termo de Cessão de Uso Não Oneroso de uma área (aproximadamente 10000 m²) no cais do porto de Porto Alegre para sediar a futura patromoria (localização apresentada na figura 1).



Fonte: Autores, 2020.

Com a construção da patromoria, será proporcionada à CFPA maior capacidade operacional, de logística e estratégia, a fim de melhor cumprir às diversas demandas que competem a esta organização militar. A obra deve atender as necessidades técnicas da CFPA (CFPA,2015) e da DPC (DPC, 2017), salientando a fundamental importância do conhecimento das profundidades nas proximidades da área da patromoria, com intuito de que as aproximações de embarcações de pequeno ou grande porte ao cais sejam realizadas de forma segura.

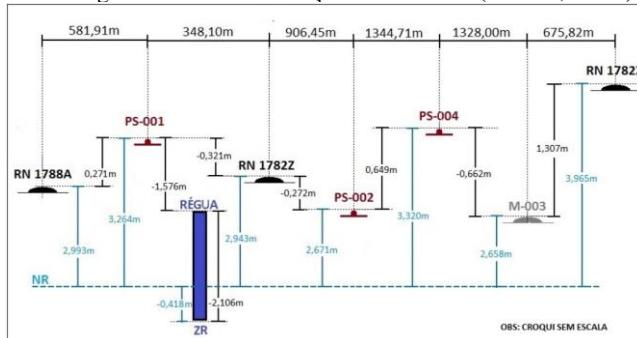
Entretanto, desenvolver mapeamentos de superfícies submersas é um desafio pelas próprias dificuldades inerentes. No que tange as cartas náuticas muitas tornam-se desatualizadas devido ao dinamismo dos sistemas hídricos, como a ocorrência de processos de erosão e deposição de sedimentos nos leitos de rios, lagos e regiões costeiras.

Para a obtenção das profundidades, deve ser realizado um levantamento batimétrico, para o qual existem diversas técnicas conhecidas, como levantamento por toque utilizando grave e batimetria utilizando vara de prumar, as quais foram as primeiras técnicas de medição direta de profundidade; atualmente são utilizados ecobatímetros (monofeixe e multifeixe) e sonares, que permitem uma varredura quase que total do fundo.

Contudo, a integração de dados altimétricos entre a região portuária (altitudes) e a área fluvial (profundidades) é de suma importância do ponto de vista cartográfico. Essa integração altimétrica visa o correto planejamento de obras em áreas fluviais assim como a avaliação correta de risco de enchentes e inundações em regiões portuárias. No Brasil, a integração de dados de altitudes e profundidades, tanto fluvial quanto oceânica, não é satisfatória, tendo em vista a descontinuidade entre os níveis de referência fornecidos pela cartografia terrestre e das profundidades apresentadas na cartografia náutica. Dessa forma, além do levantamento batimétrico, deve ser feito o transporte das altitudes ortométricas a partir das RRNN da rede fundamental do IBGE para realizar as reduções altimétricas das profundidades obtidas no referido levantamento. Desde 2018 o IBGE adota também a altitude normal ortométrica (IBGE,2018).

A figura 2 apresenta objetivamente o nível de redução calculado como resultado dos levantamentos geodésicos realizados no presente trabalho.

Figura 2 – Nível de redução determinado (NR= -0,418 m).



Fonte: Autores, 2020.

II. METODOLOGIA

As Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos trazem a seguinte definição para Levantamento Hidrográfico:

“...conjunto de atividades executadas na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topogeodésicos, oceanográficos e geofísicos, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, que não tenham como finalidade a pesquisa pura e a investigação científica, assuntos tratados pelo Decreto nº 96.000, de 2 de maio de 1988 (NORMAN-25/DHN REV.2, 2017, p.12).”

Em uma abordagem simplificada, a batimetria compreende em determinar a posição da embarcação onde está instalado o equipamento e a obtenção da respectiva profundidade. De acordo com Krueger (2005) a medição das profundidades se faz necessária para a representação das isobatas, linhas que representam, em mapas de corpos d'água (rios, lagoas, mares e oceanos), pontos de mesma profundidade, possibilitando a visualização da topografia submersa. As formas de obtenção da posição e profundidade variam conforme a precisão exigida, do tipo de equipamento a ser usado e recursos humanos disponíveis.

Os ecobatímetros são equipamentos que utilizam uma metodologia indireta de levantamento batimétrico, produzindo um ou mais feixes de ondas sonoras transmitidas verticalmente para o nadir ou lateralmente, através de um transdutor, instalado na embarcação de sondagem. Este feixe atravessa o meio líquido até atingir o fundo submerso, onde é refletido. O sinal então retorna à superfície, sendo detectado por um receptor. Com isso, tem-se o tempo decorrido desde a emissão até a recepção do sinal (*TWTT - Two Way Travel Time*), e como a velocidade de propagação do som na água é conhecida (aproximadamente 1500 m/s), torna-se possível conhecer a profundidade do local.

O princípio básico de medida da profundidade, para a maioria dos sistemas acústicos, está associado à medida de tempo de ida e volta em que uma onda sonora leva para atingir um determinado alvo. O tempo calculado é transformado em unidade de distância tendo como base o perfil vertical da velocidade do som medido a partir de perfiladores associados ao sistema acústico. Diferenças entre massas de águas atuam como se fossem lentes que refratam o caminho que o feixe sonoro percorre. Por esta razão é exigido que se faça da melhor forma possível a coleta do perfil vertical da velocidade do som na área de operação, levando em conta que o equipamento deverá ser colocado na água durante cerca de 15 minutos antes de se efetuar o perfil, para estabilização térmica.

O perfilador de velocidade do som (*SVP - Sound Velocity Profiler*) é um componente que possui um sensor de pressão para medir a profundidade e um par transdutor/refletor separados por uma distância fixa. A velocidade de propagação do som, então, é calculada conforme a seguinte equação:

$$v_s = 2d / \Delta t \quad (1)$$

onde,

v_s = velocidade de propagação do som;

d = distância entre transdutor e refletor;

Δt = intervalo de tempo entre o duplo trajeto transdutor /refletor.

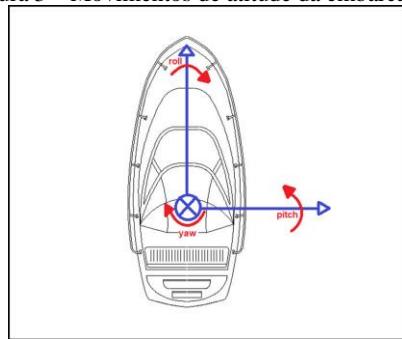
Segundo o Manual de Hidrografia da Organização Hidrográfica Internacional (OHI, 2005), alguns fatores devem ser considerados a respeito da propagação do som na água e que, por conseguinte, influenciam nas medições de profundidade. A variação de temperatura é fator dominante na variação da velocidade de propagação do som na água, sendo que, a variação de 1° C na temperatura traduz-se numa variação de aproximadamente 4,5 m/s na velocidade de propagação do som. A salinidade, que é uma medida da quantidade de sais e outros minerais dissolvidos na água do mar, também influencia na velocidade de propagação do som, onde uma variação de 1% na salinidade significa uma variação de 1,3 m/s na velocidade de propagação do som no referido meio.

A pressão também afeta consideravelmente a variação da velocidade de propagação do som na água, e como a pressão é uma função da profundidade, possui maior influência em grandes profundidades. A variação da velocidade de propagação do som, no caso da pressão, é de 1,6 m/s para aproximadamente 100 de profundidade.

O funcionamento do ecobatímetro multifeixe demanda uma maior complexidade, envolvendo variáveis técnicas e custos mais elevados do que para levantamentos realizados com ecobatímetro monofeixe, sendo diretamente relacionado à atuação de sensores auxiliares que são integrados ao sistema. Os ecobatímetros multifeixes são, em sua maioria, compostos pelos componentes descritos a seguir:

- Receptor GNSS: determina o posicionamento da embarcação de sondagem em tempo real;
- Sensor de proa: responsável por informar ao sistema, em tempo real, qual o rumo verdadeiro da embarcação de sondagem;
- Sensor inercial associado ao receptor GNSS: transfere em tempo real para o sistema multifeixe a altitude (figura 3) da embarcação (*roll*, *pitch*, *yaw*);
- Sensores de velocidade do som na superfície do transdutor: responsável pela correta orientação eletrônica na recepção dos feixes; e
- Perfiladores verticais de velocidade do som: utilizado para corrigir os efeitos de refração do sinal acústico ao se propagar na coluna d'água.

Figura 3 – Movimentos de atitude da embarcação.



Fonte: Autores, 2020.

A correta integração desses equipamentos garante a precisão, a consistência e a confiabilidade necessárias aos dados coletados em campo. Vale ressaltar que a escolha adequada dos ecobatímetros, com especificações técnicas coerentes com a área de sondagem também devem ser levadas em consideração. Nesse sentido, deve-se utilizar ecobatímetros de alta frequência para águas rasas e de baixa

frequência para águas profundas. Sobre o assunto, o Manual de Hidrografia da OHI (OHI, 2005) expõe o seguinte:

- Frequências superiores a 200 kHz para profundidades inferiores a 100 m;
- Frequência entre 50 e 200 kHz para profundidades inferiores a 1500 m; e
- Frequência entre 12 e 50 kHz para profundidades superiores a 1500 m.

As medições de profundidade também podem ser feitas utilizando metodologias diretas, tal como o levantamento batimétrico por toque utilizando grave, sendo, no entanto, inviáveis para grandes áreas ou águas muito profundas. A vantagem desses sistemas mecânicos é que os mesmos não são sensíveis às características da água, eliminando também a possibilidade de erros grosseiros devidos às reflexões na coluna de água. Ainda assim, existe a dificuldade no controle da posição da embarcação no momento da sondagem além de erros induzidos pelo movimento da correnteza, mas, levando-se em conta sua simplicidade e baixo custo, ainda é possível utilizar tais métodos como alternativa.

A representação de uma área só é possível após a obtenção de informações planialtimétricas da mesma a partir de operações topográficas. Por causa da limitação de fatores como recursos e tempo, a coleta desses dados geralmente é realizada em um número limitado de pontos, denominada amostra. A interpolação espacial é o processo que se utiliza dos valores coletados na amostra para estimar os valores nos outros pontos, gerando modelos que cobrem toda a área de interesse, podendo, então, ser utilizados para análises. Apesar de existirem diversos métodos de interpolação, os utilizados neste trabalho foram Krigagem e a triangulação com interpolação linear. Praticamente todos os softwares de SIG apresentam esses chamados métodos geostatísticos.

A Krigagem parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados, assumindo que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

De acordo com Landim e Sturaro (2002), a Krigagem:

“...trata-se de um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada semivariograma (LANDIM; STURARO, 2002, p. 3).”

O semivariograma é uma função da variância espacial, onde, para uma dada distância, a função variograma é igual à média das diferenças ao quadrado. Segundo Clark (1979, apud STURARO, 2015):

“...O semivariograma constitui-se no gráfico das semivariâncias das diferenças dos valores experimentais situados a intervalos regulares. Em condições estacionárias, o valor médio esperado é constante ou zero, o que reduz o semivariograma à média quadrática das diferenças dos valores experimentais (CLARK, 1979, apud STURARO, 2015, p. 13).”

A formula 2, a seguir, define o semivariograma:

$$\sigma(h_0) = [2Np(h_0)]^{-1}[Z(x_i) - Z(x_i + h_0)]^2 \quad (2)$$

onde,

$Z(x_i)$ e $Z(x_i + h_0)$ = conjunto de valores experimentais;

$Np(h_0)$ = número de pares experimentais; e

h_0 = intervalo regular que separa $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h_0)$.

Ainda de acordo com Sturaro (2015), “após a confecção dos semivariogramas dos valores experimentais, procura-se ajustar um modelo matemático que represente o mais próximo possível a configuração dos mesmos”. As informações geradas no semivariograma que são utilizadas pela Krigagem para encontrar a melhor ponderação entre os pontos levantados, para então estimar os pontos desconhecidos, são:

- Amplitude: que indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória;
- Patamar: que indica o valor segundo o qual a função estabiliza-se no campo aleatório, mostrando a variabilidade máxima entre pares de valores;
- Continuidade: através da forma do semivariograma, devendo os dados serem coletados a intervalos suficientes; e
- Anisotropia: quando os semivariogramas mostram parâmetros diferentes para diferentes direções de amostragem.

A triangulação por interpolação linear consiste na aproximação da superfície utilizando pontos que pertencem ao conjunto das amostras, sendo ideais, por exemplo, para representar regiões mais acidentadas. Pelo mesmo motivo, tal método é útil para detecção de dados espúrios em um banco de dados. Segundo Landim (2000), a triangulação:

“...conecta pontos amostrados através de triângulos e interpola os valores entre eles; são considerados métodos de estimação diretos, pois os contornos derivam do padrão original dos dados; não permite a extrapolação, as estimativas limitam-se estritamente à área amostrada (LANDIM, 2000, p.4).”

Conforme pode-se observar, os métodos de interpolação citados possuem características diferentes, cabendo ao usuário identificar a ocasião ideal para aplicar cada um. No presente trabalho foi utilizado o método de triangulação com interpolação linear para realizar a filtragem de dados espúrios, e a Krigagem para gerar, de maneira suavizada, as superfícies finais.

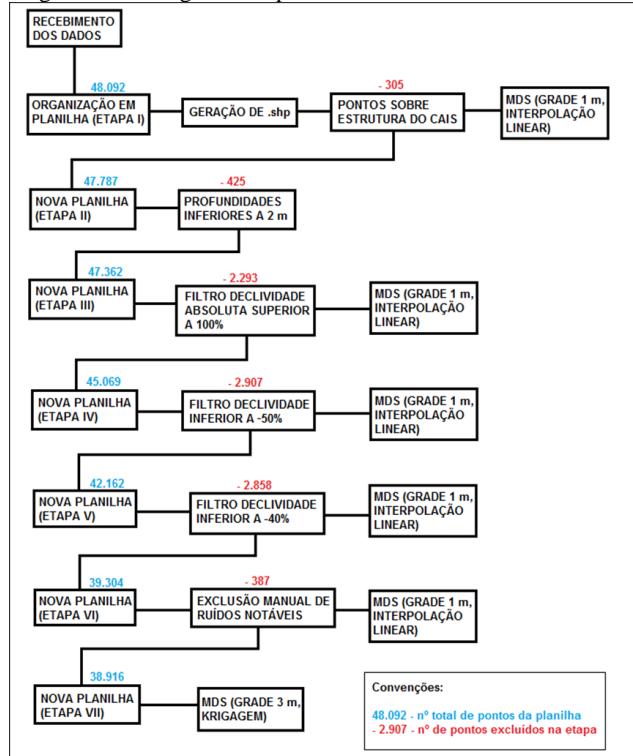
III. RESULTADOS

3.1 – Batimetria Multifeixe

A batimetria multifeixe foi executada com o ecobatímetro multifeixe *SeaBat 7125 - Teledyne RESON Dual Head* em conjunto com o receptor *Trimble SPS461*, utilizando correções do tipo *OmniSTAR HP service*, com precisão nominal horizontal de $\pm 0,1\text{m}$ e precisão nominal vertical de $\pm 0,15\text{m}$. O sistema inercial *Applanix POS MV* proporcionou as correções referentes aos movimentos de altitude da embarcação. Os dados provenientes do

levantamento realizado utilizando o ecobatímetro multifeixe foram disponibilizados pela equipe da SUPRG em dois arquivos. No primeiro arquivo de extensão *.tid*, continham as leituras realizadas na régua limímetrica no início e no fim da sondagem, bem como a interpolação linear dos valores referentes à altura da lâmina d’água no intervalo de tempo compreendido para o levantamento. O segundo arquivo, de extensão *.xyz*, possuía as coordenadas UTM (E,N) e a profundidade de cada um dos 48.092 pontos registrados no levantamento. O processamento não utilizou software proprietário do sistema multifeixe, para filtragem dos dados foram utilizados três softwares: Microsoft Excel, *Golden Software Surfer* e QGIS. A sequência de processamento está apresentada no fluxograma da figura 4.

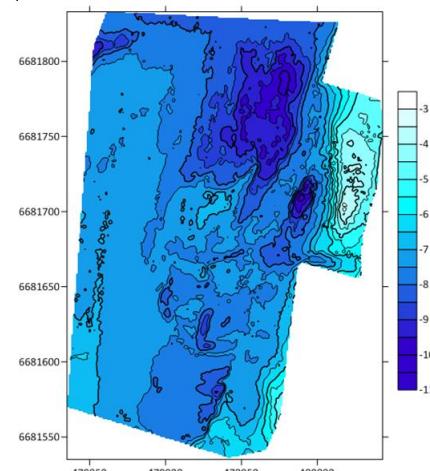
Figura 4 – Fluxograma do processamento dos dados multifeixe.



Fonte: Autores, 2020.

A figura 5 apresenta o resultado final da batimetria multifeixe.

Figura 5 – Isóbatas da batimetria multifeixe (m).

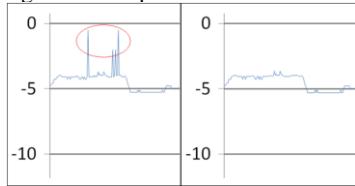


Fonte: Autores, 2020.

3.2 – Batimetria Monofeixe

Na batimetria monofeixe foi utilizado o ecobatímetro *Humminbird 798ci HD SI Combo* e receptor GNSS *Humminbird AS GRP* (precisões nominais do sistema horizontal de $\pm 1,0\text{m}$ e vertical $\pm 0,25\text{m}$). Os dados levantados foram gravados em um arquivo texto (4651 pontos), contendo as coordenadas geodésicas (latitude e longitude referidas ao WGS 84), profundidade, data e hora da aquisição de cada ponto. Foram realizadas as reduções altimétricas, com o objetivo de compatibilizar todos os levantamentos ao mesmo referencial. Os dados do arquivo .txt foram organizados em uma planilha do Excel, onde realizou-se os cálculos das reduções, também foi gerado um gráfico das profundidades em função do horário de aquisição, este gráfico é denominado ecograma. A geração do ecograma possibilitou a realização da filtragem dos dados. Ao analisar visualmente o ecograma é possível localizar dados com ruído e consecutivamente filtrá-los da planilha (figura 6).

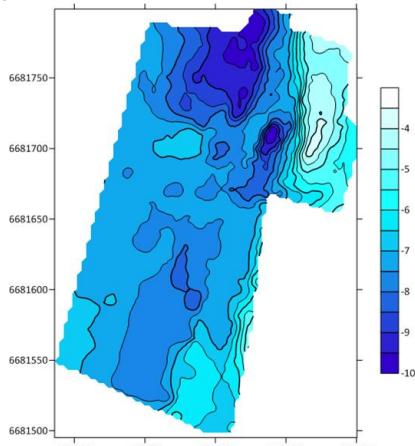
Figura 6 – Ecograma exemplificando a exclusão de ruídos (m).



Fonte: Autores, 2020.

A figura 7 apresenta o resultado final da batimetria monofeixe.

Figura 7 – Isóbatas da batimetria monofeixe (m).



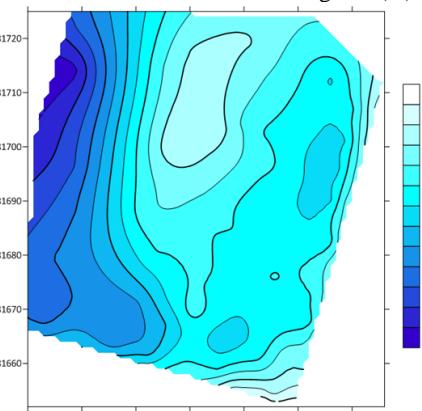
Fonte: Autores, 2020.

3.3 – Batimetria com Grave

O levantamento batimétrico foi realizado por um aparelho confeccionado com uma trena de fibra de vidro (20m), graduada em centímetros, acoplada a um grave de ferro de 3 kg. A profundidade foi observada diretamente na graduação da trena no momento em que o grave tocava o fundo do rio. As leituras foram realizadas no centro fiducial da parte posterior do prisma fixado na embarcação visando o posicionamento topográfico convencional através do método de irradiação. Para o processamento dos dados levantados com estação total e cálculo das coordenadas planimétricas dos pontos levantados, foi utilizado o software DataGeos. Primeiramente foram calculadas em um sistema de coordenadas plano-retangulares (Plano Topográfico Local) e posteriormente georreferenciadas, inserido no

software as coordenadas geodésicas dos vértices de apoio. Para a compatibilização dos dados dos levantamentos batimétricos foi realizada a transformação das coordenadas globais em coordenadas geodésicas. A figura 8 apresenta o resultado final da batimetria realizada com grave.

Figura 8 – Isóbatas da batimetria com grave (m).



Fonte: Autores, 2020.

Adotou-se as profundidades obtidas pelo levantamento batimétrico com grave para validação das batimetrias multifeixe e monofeixe, haja vista, que esta metodologia de medição não sofre diminuição em sua confiabilidade devido à mudança de fatores físicos do meio, tais como temperatura, pressão, salinidade e sedimentos, como também não é prejudicada pela presença de resíduos sólidos flutuando na água, uma vez que a medida é realizada somente após o grave tocar o leito do rio (método de medição direta). A comparação entre os diferentes levantamentos se tornou possível devido a existência de áreas comuns mapeadas por cada um dos diferentes métodos. A validação dos levantamentos batimétricos considerou a norma: Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos (DHN, 2008).

Considerando as profundidades médias dos levantamentos batimétricos monofeixe e multifeixe como sendo 7,50 m, a OHI classifica como ordem especial levantamentos com incerteza vertical total (IVT) melhor que $\pm 0,25\text{ m}$, e ordem 1A com IVT melhor que $\pm 0,50\text{ m}$, considerando um nível de confiança de 95%, ou seja, $\pm(2x$ desvio-padrão). Dessa forma o mapeamento monofeixe obteve uma incerteza de $\pm 0,324\text{ m}$ a um nível de confiança de 95%, ficando classificado com levantamento de ordem 1A. Segundo a classificação da OHI, o levantamento multifeixe ficou classificado como ordem especial por possuir IVT de $\pm 0,236\text{ m}$ a um nível de confiança de 95%.

Na tabela 1, a seguir, é apresentada a síntese dos resultados descritos nesta validação.

Tabela 1 – Parâmetros de validação dos levantamentos.

Parâmetro	Multifeixe	Monofeixe
Pontos de verificação	37	60
Média verificação (m)	0,051	0,053
Desvio-padrão verificação (m)	0,118	0,162
(D) Discrepância (m)	0,250	0,250
Pontos com $D < 0,250\text{ m}$	36 (97,3%)	54 (90,0%)
IVT (m)	$\pm 0,236$	$\pm 0,324$
Classe OHI	Especial	1A

Fonte: Autores, 2020.

IV. CONCLUSÃO

A aplicação de todos métodos de levantamentos batimétricos na área de interesse foram satisfatórios. O método de medição de profundidades por toque utilizando grave, apesar de ser uma técnica simples e rudimentar, mostrou-se eficiente para verificação de pequenas profundidades, possibilitando seu uso na verificação e validação dos levantamentos batimétricos multifeixe e monofeixe. Na batimetria multifeixe, mesmo sem a utilização de *software* proprietário, o processamento proposto e aplicado aos dados obteve sucesso, realizando filtragens, eliminando dados anômalos e após a validação resultando uma IVT $\pm 0,236$ m, com nível de confiança de 95%, classificando o levantamento batimétrico com ecobatímetro multifeixe como de ORDEM ESPECIAL de acordo com a publicação S-44 da OHI. O levantamento com o ecobatímetro monofeixe mostrou-se eficiente, mesmo que o equipamento utilizado não seja homologado para fins de mapeamento. As profundidades levantadas com ecobatímetro monofeixe atingiram o coeficiente de correlação de 0,9765 em relação ao levantamento batimétrico multifeixe, evidenciando que as profundidades obtidas pelo monofeixe são realmente muito próximas das profundidades obtidas pelo multifeixe. A superfície gerada por esta técnica apresentou IVT $\pm 0,324$ m com nível de confiança de 95%.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPITANIA FLUVIAL DE PORTO ALEGRE. NPCF-CFDA: Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial de Porto Alegre. Porto Alegre, 2015.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. NORMAN-25/DHN REV.2: Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos, 2^a revisão. Rio de Janeiro, 2017.

DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS. NORMAN-11/DPC REV.1: Normas da Autoridade Marítima para obras, dragagens, pesquisa e lavra de minerais sob, sobre e às margens das Águas Jurisdicionais Brasileiras, 1^a revisão. Rio de Janeiro, 2017.

IBGE. Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais 2018.

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

KRUEGER, C.P. Levantamentos Batimétricos, Revista INFOGEO 39 (MUNDOGEO) setembro 2005, Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentos-batimetricos>. Acesso em 28 de dezembro de 2017.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos Métodos de Estimação Espacial para Confecção de Mapas. Texto Didático 2. UNESP. Rio Claro, 2000.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J.R. Krigagem Indicativa Aplicada à Elaboração de Mapas Probabilísticos de Riscos. Texto Didático 06. UNESP. Rio Claro, 2002.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL. Manual de Hidrografia. Lisboa, 2005.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL. Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos. 5^a edição. Publicação Especial nº 44. Versão

traduzida para o português publicada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2008.

STURARO, J. R. Apostila de Geoestatística Básica. UNESP. Rio Claro, 2015.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Marinha do Brasil (MB) através da Capitania Fluvial de Porto Alegre (CFPA) que permitiu a realização deste trabalho na área da futura patromoria, bem como, pela disponibilização de colaboradores, embarcação e suas instalações para apoio logístico. À Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG) em Porto Alegre, pela disponibilidade na realização do levantamento batimétrico com o ecobatímetro multifeixe e equipe de apoio. À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelo fornecimento dos equipamentos geodésicos de superfície fundamentais para a realização deste trabalho. Ao Centro de estudos de Geologia Costeira da UFRGS (CECO) pelo empréstimo do ecobatímetro monofeixe.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

SEPARAÇÃO GEOIDE-QUASEGEOIDE (SGQ) E SUA VARIAÇÃO EM FUNÇÃO DO VALOR DA DENSIDADE LATERAL NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE – RS

GEOID-QUASIGEOID SEPARATION (GQS) AND ITS VARIATION AS A FUNCTION OF THE LATERAL DENSITY VALUE IN THE CITY OF PORTO ALEGRE - RS

ROOSEVELT DE LARA SANTOS JR¹; SÉRGIO FLORÊNCIO DE SOUZA¹; MÁRIO LOPES LUIZ REISS¹

1 – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

rooseveltdelara@ufrgs.br; sergio.florencio@ufrgs.br; mario.reiss@ufrgs.br

Resumo – Em 2018 o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) através do IBGE adotou como superfície de referência vertical, o quasegeoide, por conseguinte, a altitude normal, em substituição a antiga superfície de referência vertical, o geoide e a altitude ortométrica. O quasegeoide e o geoide estão relacionadas através do campo de gravidade. Considerando que o campo de gravidade é variável e dependente da distribuição das massas topográficas, o presente estudo propõe uma metodologia para aplicação prática do cálculo da variação do valor da Separação Geoide-Quasegeoide (SGQ) em função da variação da densidade lateral, utilizando dados oriundos de levantamentos geodésicos (altimétrico, gravimétrico e um mapa de densidades das massas topográficas). Os resultados apontam para a importância da efetiva incorporação das variações das densidades das massas topográficas aos cálculos da SGQ e altitudes precisas.

Palavras-chave: Geoide. Quasegeoide. SGQ. Altitudes. Densidade lateral.

Abstract - In 2018, the Brazilian Geodetic System (SGB) through IBGE adopted as the vertical reference surface, the quasegeoid, therefore, the normal altitude, replacing the old vertical reference surface, the geoid and the orthometric altitude. The quasegeoid and the geoid are related through the gravity field. Considering that the gravity field is variable and dependent on the distribution of topographic masses, the present study proposes a methodology for the practical application of calculating the variation in the value of the Geoid-Quasegeoid Separation (GQS) as a function of the variation in lateral density, using data from geodetic surveys (altimetric, gravimetric and a density map of the topographic masses). The results point to the importance of the effective incorporation of variations in the values of the densities of the topographic masses into the calculations of the GQS and precise altitudes.

Keywords: Geoid. Quasigeoid. GQS. Altitudes. Lateral density.

I. INTRODUÇÃO

Singh et al. (2006), descrevem que os valores das densidades das rochas variam frequentemente com a profundidade e lateralmente devido aos efeitos como: a estratigrafia das camadas, variações de fácies, compactação,

diagênese, cimentação, falhas, dobragem, empuxo, intrusão e extrusão.

A variação do valor da densidade lateral devido aos motivos mencionados conduz a imprecisões na análise quantitativa e às vezes impõe severas restrições ao poder de resolução da análise de dados gravimétricos. Segundo Sjöberg (2018), o geoide é uma superfície equipotencial e serve como superfície de referência vertical às Geodesia e Geofísica. O quasegeoide introduzido por Molodenskii (1960) por sua vez não é uma superfície equipotencial, por este motivo desinteressante na maioria das vezes às aplicações geofísicas. O geoide serve como superfície ideal aos sistemas de referência vertical aos muitos países que utilizam altitudes ortométricas, por outro lado, outros países adotaram o quasegeoide e a altitude normal (ou altitudes normal-ortométrica quando associadas à altitude ortométrica ou ao nível zero).

O grande motivador da adoção das altitudes normais reside no fato que sua determinação essencialmente independe do conhecimento ou consideração dos valores de variação das densidades das massas topográficas. A separação geoide-quasegeoide (SGQ), apresentada em Heiskanen e Moritz (1967) e Sjöberg e Bagherbandi (2017), relacionam as teorias clássica (Stokes-Helmert) e a moderna (Molodenskii-Hirvonen), associando um referencial físico ao referencial eminentemente matemático, juntos possibilitam a integração de vantagens como a adoção de uma superfície equipotencial para origem das altitudes e a possibilidade de densificação altimétrica utilizando técnicas de levantamento de grande produtividade como o nivelação por GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e modelos geopotenciais de abrangência global. Para Kotsakis e Tsalis (2014), desde o advento das técnicas de posicionamento geodésico espacial, a análise conjunta de dados heterogêneos de altitudes tornou-se uma ferramenta importante para muitas aplicações geodésicas. O exemplo mais proeminente é a combinação de altitudes geométricas levantadas por GNSS combinadas às altitudes ortométricas em relação a um modelo geoidal local, que por sua vez tem sido empregado como um método padrão para o teste de

qualidade de modelos geopotenciais globais (ou de redes altimétricas locais), bem como a implementação e unificação de sistemas de referência verticais.

Flury e Rummel (2009), destacam que normalmente, utiliza-se uma densidade constante de 2670 kg/m³ na determinação do geoide. No entanto, sabe-se, que os valores das densidades das massas topográficas variam entre 10 e 20 % do valor médio real da densidade da crosta. Hinze (2003), atribuiu às necessidades práticas e locais do *US Coast and Geodetic Survey* no início do século XX como motivo da adoção do valor clássico de 2670 kg/m³ para a densidade das massas topográficas. Kiamehr (2006), cita que a existência de massas topográficas acima do geoide viola o pressuposto básico da fórmula de Stokes para a determinação da superfície geoidal. Flury e Rummel (2009), ressaltam a importância da introdução da correção topográfica no cálculo da SGQ respeitando o problema de contorno em Geodesia Física e sua implicação à correta aplicação da fórmula de Bruns. Foroughi e Tenzer (2017), relatam o efeito da densidade lateral sobre o valor da SGQ na ordem de 5%. Ferreira, Freitas e Heck (2011), abordam o cálculo do valor da SGQ na região sul do Brasil. De Lara (2017), apresenta o cálculo da SGQ e o efeito da densidade lateral sobre seu valor com base em um mapa compilado de densidades das massas topográficas (De Lara, 2016), porém, sem o uso de dados altimétricos e gravimétricos geodésicos precisos na região oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Tendo em vista a adoção no Brasil da altitude normal através do IBGE (IBGE, 2018), e considerando seu cálculo a partir dos números geopotenciais e suas associações às altitudes ortométricas e consequente relacionamento ao nível zero, que reflete em termos práticos a qualidade ou precisão do geoide local atual, conduz então, dentro de uma análise mais rigorosa às altitudes normais-ortométricas. Como descrito anteriormente a variação do valor da densidade lateral, classicamente considerada inexistente através da adoção de um valor constante, traz interesses em termos teórico e prático na avaliação da importância ou não de sua consideração no cálculo de altitudes científicas e seus respectivos relacionamentos ao geoide e quasegeoide.

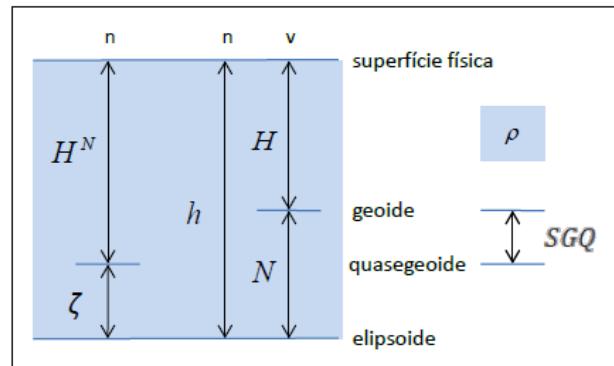
Nesta pesquisa é proposta uma metodologia para o cálculo da variação do valor da SGQ em função da variação da densidade lateral, utilizando dados oriundos de levantamentos geodésicos precisos e efetivamente levantados em campo (altimétrico, gravimétrico e posicionamento por GNSS) e mapa de densidades das massas topográficas na região de Porto Alegre – RS compilado a partir das informações geológicas regionais.

II. METODOLOGIA

Visando cumprir estritamente as necessidades teóricas do presente trabalho, a figura 1 apresenta de maneira esquemática e objetiva as principais superfícies geodésicas envolvidas. A superfície terrestre e suas imediações onde as observações geodésicas são realizadas, o geoide representando a superfície de referência em relação ao campo de gravidade verdadeiro (geope), o elipsoide responsável pela modelagem matemática da Terra é desenvolvido através do modelo teórico gravitacional terrestre (esferope). A separação geoide-elipsoide é chamada altitude geoidal (N). A vertical (v) é uma linha de força do campo gravífico passante pelo ponto na superfície terrestre e obrigatoriamente ortogonal à superfície geoidal.

A normal (n) é uma linha de força do campo gravífico teórico passante pelo ponto na superfície terrestre e obrigatoriamente ortogonal ao elipsoide. Lembrando que nenhuma das linhas de força ou superfícies de referência citadas são necessariamente paralelas entre si. A distância sobre a vertical entre o geoide e um ponto na superfície terrestre é denominada altitude ortométrica (H). Analogamente a altitude geométrica (h) ocorre sobre a normal entre a superfície elipsoidal e o ponto na superfície terrestre. Molodenskii (1960) desenvolveu a teoria referente à superfície de referência denominada quasegeoide, a qual é absolutamente independente das variações dos valores das densidades das massas topográficas (ρ). De maneira simplificada podemos entender o quasegeoide como sendo a superfície na qual o valor do potencial normal (teórico) em um ponto é igual ao geopotencial de seu respectivo homólogo localizado na superfície terrestre. Molodenskii denominou a distância sobre a normal entre o elipsoide e o quasegeoide como anomalia de altitude (ζ), por conseguinte, a distância sobre a normal entre o quasegeoide e o ponto localizado na superfície terrestre é chamada de altitude normal (H^N).

Figura 1 - Esquema das principais superfícies de referência.



Fonte: Autores, 2020.

Com base em Heiskanen e Moritz (1967), Gamael (1999), Torge (2001) e Sjöberg e Bagherbandi (2017), foram desenvolvidos os modelos matemáticos utilizados na metodologia proposta pelo presente trabalho. Da figura 1 podem-se extrair as seguintes aproximações uma vez que as superfícies de referência (física, geoide, elipsoide e quasegeoide), não são necessariamente paralelas:

$$h \cong H + N \quad (1)$$

$$h \cong H^N + \zeta \quad (2)$$

Operando as equações 1 e 2 temos como resultado a Separação Geoide-Quasegeoide (SGQ). O detalhamento e as diversas implicações teóricas inerentes a completa dedução da equação 3 encontram-se disponíveis em Sjöberg (2010):

$$SGQ = N - \zeta = H^N - H \quad (3)$$

As equações 4 e 5, apresentam o cálculo das altitudes ortométrica e normal respectivamente a partir dos valores médios das gravidades: medidas (\bar{g}) e normais calculadas (\bar{Y}) e do número geopotencial (C):

$$H = C/\bar{g} \quad (4)$$

$$H^N = C/\bar{Y} \quad (5)$$

$$C = H^N \bar{y} = H\bar{g} \quad (6)$$

Na equação 6 explicitando o valor da altitude normal em função da gravidade média e da gravidade normal média, tem-se:

$$H^N = (\bar{g} / \bar{y})H \quad (7)$$

Operando a equação 3 com a equação 7, resulta:

$$SGQ = N - \zeta = H^N - H = [(\bar{g} - \bar{y})/\bar{y}]H \quad (8)$$

Seja o valor da anomalia da gravidade dado por:

$$\Delta g = \bar{g} - \bar{y} \quad (9)$$

A equação 10 relaciona a gravidade média e a gravidade medida em um ponto, ao gradiente vertical (relacionado à redução do ar livre) e a equação de Poisson, a qual realiza a inclusão do valor da densidade das massas topográficas e o valor da constante gravitacional (G):

$$\bar{g} = g - [-0,5(\delta\gamma/\delta h) + 2\pi G\rho]H \quad (10)$$

Da mesma forma a equação 11 apresenta o valor da gravidade normal média em relação à gravidade normal calculada para um ponto e o gradiente da normal:

$$\bar{y} \cong y - 0,5(\delta\gamma/\delta h) \quad (11)$$

Para o cálculo da gravidade normal pode-se utilizar a fórmula Somigliana (Moritz, 1988):

$$y = (a\gamma_e \cos^2 \varphi + b\gamma_p \sin^2 \varphi) / (a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi) \quad (12)$$

onde,

γ , gravidade normal

a , semi-eixo maior

b , semi-eixo menor

γ_e , gravidade normal no equador

γ_p , gravidade normal no pólo

φ , latitude geodésica

Operando as equações 10 e 11 obtemos a fórmula para o cálculo do valor da anomalia de Bouguer (Δg_B):

$$\Delta g_B \cong g - y + (\delta\gamma/\delta h)H - 2\pi G\rho H \quad (13)$$

Na equação 13 o sinal de aproximação se deve a desconsideração da correção de terreno (devido às massas topográficas remanescentes), a equação 14 apresenta a forma completa para cálculo do valor da anomalia de Bouguer:

$$\Delta g_B = g - y + (\delta\gamma/\delta h)H - 2\pi G\rho H + \rho T \quad (14)$$

No presente estudo aceita-se a aproximação dada pela equação 13 aplicada na equação 9, resultando:

$$\bar{g} - \bar{y} \cong \Delta g_B \quad (15)$$

O cálculo da Separação Geoide-Quasegeoide empregando a anomalia de Bouguer é realizada com a aplicação da equação 15 na equação 8 resultando:

$$SGQ = N - \zeta \cong (\Delta g_B / \bar{y})H \quad (16)$$

Segundo Heiskanen et Moritz (1967), o valor de Δg_B nas regiões continentais normalmente é negativo.

No presente estudo visando dimensionar a expectativa do valor da utilização ou não do valor convencional para as densidades das massas topográficas no cálculo da separação geoide-quasegeoide (Δ_{SGQ}). Assumiu-se a igualdade dos membros da equação 3 em relação à SGQ, portanto, se um dos membros da equação varia, tal variação é transferida diretamente ao valor da SGQ calculada. Para o cálculo numérico desta variação utiliza-se a fórmula 17 adaptada de Sjöberg (2004). O sinal de aproximado refere-se a substituição da variação da altitude geoidal pela SGQ:

$$\Delta_{SGQ} \cong -(2\pi GH^2 \Delta\rho) / \bar{y} \quad (17)$$

$$\Delta\rho = \rho_{map} - \rho \quad (18)$$

ρ , densidade média clássica das massas topográficas (2670 kg/m³)

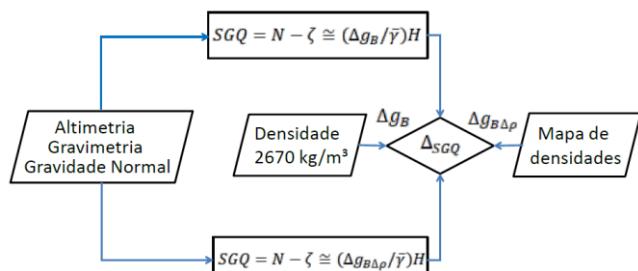
ρ_{map} , valor da densidade (não média, compilada)

$\Delta\rho$, valor da variação da densidade local em relação ao valor da densidade média clássica

Δ_{SGQ} , erro devido à desconsideração da variação do valor da densidade lateral no cálculo da separação geoide-quasegeoide

A aplicação prática da metodologia desenvolvida com objetivo de calcular o valor SGQ e sua variação em função da densidade lateral, baseia-se na teoria revisada e desenvolvida no presente trabalho, utilizando dados oriundos de levantamentos geodésicos. Nesse sentido, três grupos de dados são essenciais: os dados altimétricos (altitudes ortométricas realizadas com emprego da técnica de nivelamento geométrico), os dados gravimétricos (efetivamente levantados em campo associada ao posicionamento por GNSS e altitude ortométrica determinada para a posição do ponto gravimétrico), e por último a integração com o mapa de densidades das massas topográficas da área considerada. O fluxograma apresentado pela figura 2 mostra a sequência metodológica das etapas propostas e aplicadas no presente estudo.

Figura 2 - Fluxograma metodológico para cálculo da SGQ.

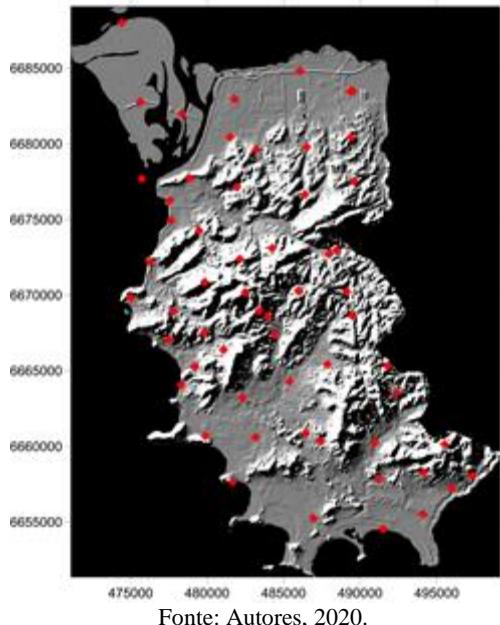


Fonte: Autores, 2020.

A área de teste visando a aplicação da metodologia proposta foi definida considerando a disponibilidade dos dados geodésicos (58 pontos mostrados na figura 3),

distribuídos dentro do município de Porto Alegre no estado do Rio Grande do Sul (abrangência territorial de cerca de 768 km²). Três instituições forneceram dados geodésicos (altimétricos, gravimétricos e posicionais) utilizados nos experimentos realizados no presente estudo: o Laboratório de Pesquisas em Geodesia da UFRGS (LAGEO), a Prefeitura Municipal de Porto Alegre e o IBGE. As precisões dos dados geodésicos utilizados segundo seus gestores: os levantamentos planimétricos tem tolerância de ± 10 mm (resultante xy); os levantamentos altimétricos tem tolerância de ± 2 mm. \sqrt{k} , k em quilômetros (linhas de nívelamento geométrico); e os levantamentos gravimétricos tem tolerância de $\pm 0,010$ mGal.

Figura 3 – Distribuição dos dados geodésicos e área teste.



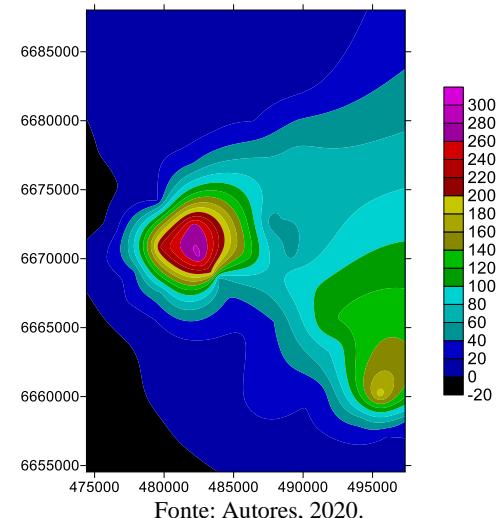
Fonte: Autores, 2020.

III. RESULTADOS

Na sequência são apresentadas figuras e tabela, representativas, dos respectivos resultados dos processamentos realizados, em função da metodologia proposta.

A figura 4 apresenta o modelo digital de superfície (MDS) construído a partir dos dados altimétricos disponíveis (altitudes ortométricas determinadas por nívelamento geométrico de precisão, banco de dados do LAGEO e do IBGE).

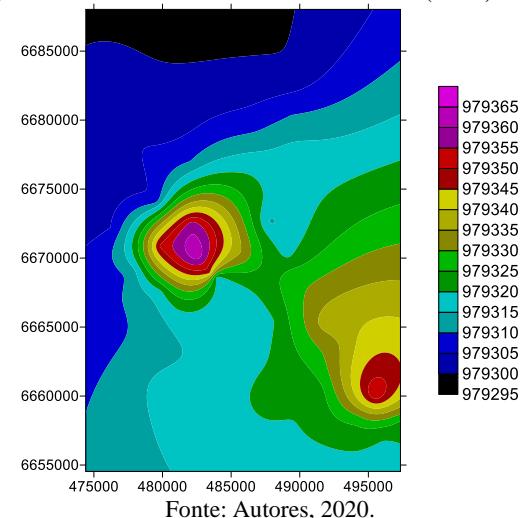
Figura 4 – MDS calculado com altitudes ortométricas na área teste (m).



Fonte: Autores, 2020.

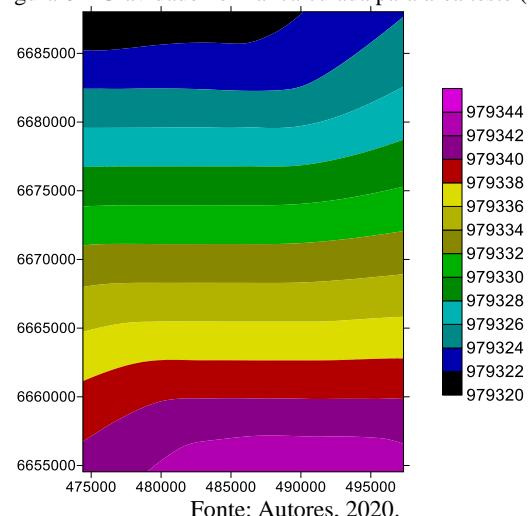
Os dados gravimétricos interpolados a partir dos valores gravimétricos efetivamente levantados em campo são apresentados na figura 5 (valores gravimétricos densificados a partir da rede gravimétrica de precisão do IBGE pelo LAGEO). Utilizando a fórmula Somigliana (equação 12) foram calculados os valores da gravidade normal para a área teste conforme mostra a figura 6.

Figura 5 – Gravimetria observada na área teste (mGal).



Fonte: Autores, 2020.

Figura 6 – Gravidade normal calculada para área teste (mGal).



Fonte: Autores, 2020.

O mapa de densidades das massas topográficas (figura 7) foi compilado a partir da classificação dos principais

tipos de rochas (sedimentares, ígneas e metamórficas), apresentadas pelo mapeamento geológico executado pela CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, no estado do Rio Grande do Sul. Na compilação do mapa de densidades utilizou-se o valor de densidade médio para cada classe litológica (De Lara, 2017). A tabela 1 nos permite apreciar um resumo dos valores dos diversos parâmetros calculados com a finalidade do cálculo da SGQ.

A SGQ calculada a partir dos dados e metodologia proposta tem amplitude de 28 mm (considerando a variação da densidade lateral, tabela 1) e 26 mm utilizando o valor médio da densidade das massas topográficas, este valor está dentro das expectativas do IBGE (2018), visando à utilização de altitudes normais no Brasil;

O efeito do uso de valores variáveis para as massas topográficas no cálculo da SGQ pode ser visto nas figuras 8 e 9. O resultado numérico é expressivo variando 2mm na área teste, bem como sua distribuição geométrica.

A variação da densidade lateral em relação ao valor médio (2670 kg/m^3) na área teste totalizou 970 kg/m^3 ou cerca de 36% e em relação ao valor médio local (2485 kg/m^3) varia cerca de 20% conforme previsto por Flury e Rummel (2009);

A variação altimétrica para região de estudo é de cerca de 280 m, as anomalias de Faye alcançaram amplitude de cerca de 143 mGal, mostrando sua alta correlação à variação altimétrica;

O valor da gravidade observada variou cerca de 64 mGal e o valor da gravidade normal calculada variou cerca de 24 mGal, resultando uma anomalia média de cerca 40 mGal, o que evidencia a heterogeneidade geológica local;

A anomalia de Bouguer calculada considerando o efeito da densidade lateral em relação ao valor médio apresentou variação de cerca de 3,5 mGal, este valor concorda em cerca de 90% com a relação proposta por Singh et al. (2006) que relaciona uma variação de 0,42 mGal a cada variação na densidade lateral de 100 kg/m^3 , a diferença encontrada é expressiva tendo-se em conta que a precisão nominal do gravímetro em uso atualmente é menor que 1 mGal;

O efeito da densidade lateral sobre o valor calculado pela metodologia proposta para SGQ é de 2 mm, cerca 7,5% superando os 5% previstos por Foroughi e Tenzer (2017), ressalta-se que no presente estudo não foi aplicada a correção de terreno no cálculo das anomalias de Bouguer;

O erro estimado pela não consideração da variação da densidade lateral sobre o valor calculado da SGQ pela equação 16 é de 2 mm, comprovando sua aplicabilidade uma vez que este valor coincide com o valor calculado utilizando a metodologia proposta e dados geodésicos observados em campo.

Tabela 1 – Valores dos principais parâmetros calculados.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Amplitude	Unidade
Leste UTM	474412,38	497339,36	22926,977	m
Norte UTM	6654539	6688024,4	33485,354	m
Fuso UTM	22	22	0	
ρ	2670	2670	0	kg/m^3
ρ_{map}	2000	2970	970	kg/m^3
$\Delta\rho$	-670	300	970	kg/m^3
H	1,978	282,574	280,596	m
g	979299,05	979362,98	63,93	mGal
γ	979320,05	979343,75	23,696	mGal
$g - \gamma$	-21	19,234	40,234	mGal
Δg_F	24,657	-117,698	142,355	mGal
Δg_B	25,06	-86,058	111,118	mGal
$\Delta g_{B\Delta\rho}$	25,016	-89,56	114,576	mGal
$\Delta g_B - \Delta g_{B\Delta\rho}$	-0,025	-3,502	-3,477	mGal
SGQ	-0,025	0,001	0,026	m
$SGQ_{\Delta\rho}$	-0,026	0,002	0,028	m
$\Delta SGQ_{\Delta\rho}$	-0,002	0	0,002	m
Δ_{SGQ}	-0,002	0	0,002	m

$\Delta g_{B\Delta\rho}$, anomalia de Bouguer considerando as variações dos valores das densidades das massas topográficas;

$SGQ_{\Delta\rho}$, Separação Geoide-Quasegeoide calculada pela metodologia proposta;

$\Delta SGQ_{\Delta\rho}$, valor estimado para o erro devido a não consideração da variação do valor da densidade lateral no cálculo da SGQ.

Figura 7 – Mapa de densidades das massas topográficas compilado para a área teste (kg/m^3).

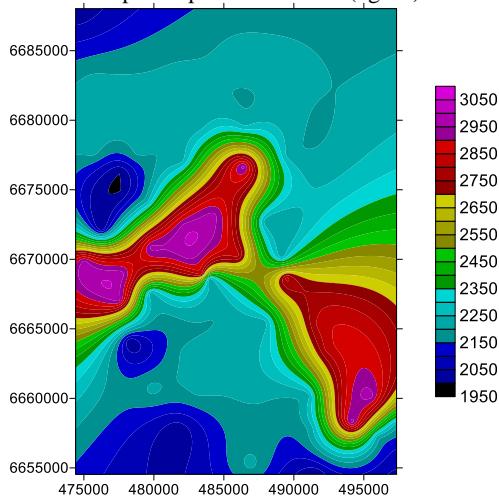
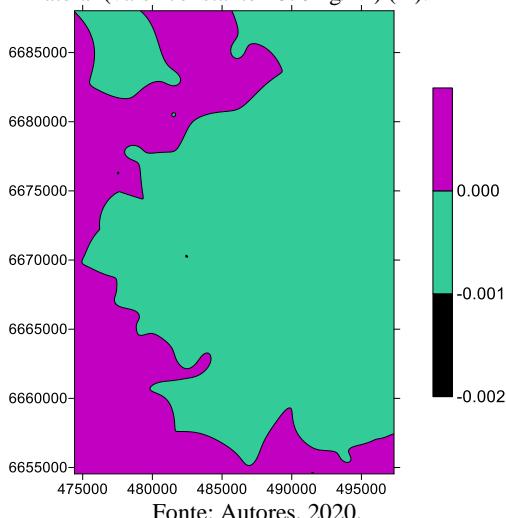
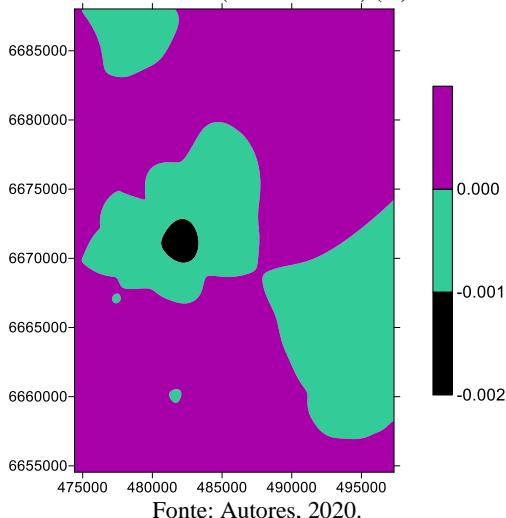


Figura 8 - Variação da SGQ relacionada ao efeito densidade lateral (valor constante 2670 kg/m³) (m).



Fonte: Autores, 2020.

Figura 9 - Variação da SGQ relacionada ao efeito da densidade lateral (valor variável) (m).



IV. CONCLUSÃO

Como conclusão principal destaca-se a eficiência da metodologia proposta e sua aplicação efetiva na área teste. Os resultados alcançados mostraram total compatibilidade ao estágio teórico atual, bem como são encorajadores à sua aplicação futura em ensaios ou práticas mais abrangentes. Com base nos resultados experimentais julga-se que a incorporação da correção devida à variação do valor da densidade lateral no cálculo da Separação Geoide-Quasegeoide (SGQ) seja corrente quando o objetivo for a determinação de altitudes precisas. Como recomendação principal, deseja-se à aplicação da metodologia proposta em regiões geográficas maiores e com variação topográfica mais acentuada. Por fim, recomenda-se a compilação de um mapa de densidades das massas topográficas de abrangência nacional.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE LARA, R.. **Mapa de densidade das massas topográficas**. Porto Alegre, RS: SABI/IGeo/UFRGS, 2016. 1 Mapa. + 1 DVD. Array.

DE LARA, R.. **Efeito da variação do valor da densidade lateral relacionada à separação geoide-quasegeoide na**

região de Porto Alegre RS: estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Geomática (4. : 2017 : Presidente Prudente, SP). [Anais], Presidente Prudente : UNESP, 2017 p. 470-473.

http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_93.pdf

FERREIRA, V.G., FREITAS, S.R.C. de, HECK, B.. **A separação entre o geoide e o quase-geoide: uma análise no contexto brasileiro**. Revista Brasileira de Cartografia n.63 Edição Especial 40 anos, p.39-50. 2011.

FLURY, J., RUMMEL, R.. **On the geoid-quasigeoid separation in mountain areas**. Springer: Journal of Geodesy v.83, p.829-847, 2009. <http://doi.org/10.1007/s00190-009-0302-9>

FOROUGHI, I., TENZER, R.. **Comparaison of different methods for estimating the geoid-to-quasi-geoid separation**. Geophysical Journal International v.210, p.1001-1020, 2017. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx221>

GEMAEL, C.. **Introdução à Geodesia Física**. Editora UFPR: Curitiba, 302p. 1999.

HEISKANEN W.A., MORITZ H.. **Physical Geodesy**. W.H. Freeman, San Francisco. 364p. 1967.

HINZE, W.J.. **Bouguer reduction density, why 2.67?** Geophysics v.68-5, p.1559-1560, 2003. <https://doi.org/10.1190/1.1620629>

IBGE. **Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais 2018**.

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

KIAIMEHR, R.. **The impact of lateral density variation model in the determination of precise gravimetric geoid in mountainous areas: a case study of Iran**. Geophysical Journal International, v.167, p.521-527, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03143.x>

KOTSAKIS, C., TSALIS, I.. **Combination of geometric and orthometric heights in the presence of geoid and quasi-geoid models**. Springer: Gravity, Geoid and Height Systems. International Association of Geodesy Symposia 141, p.235-239, 2014. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10837-7_30

MOLODENSKII M. S., EREMEEV V. F., YURKINA M. I. (1960). **Methods for study of the external gravitational field and figure of the Earth**. Trudy TsNIIGAiK N 131. In Russian. Israel program for scientific translations. Jerusalem 1962. 248 pp. Translated from Russian.

MORITZ, H. **Geodetic Reference System 1980**, Bulletin Geodesique . Paris, França, v. 62, n. 3, p348-358. 1988.

SINGH, P., PANDEY, R.S., GUPTA, S.K., NAINWAL, N.C., ASTHANA, M.. **Bouguer reduction with lateral variable surface densities – a model based case study in geologically complex frontier area**. 6th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics “Kolkata 2006”, p.72-77, 2006. https://www.spgindia.org/conference/6thconf_kolkata06/16_0.pdf

SJÖBERG, L.E.. **The effect on the geoid of lateral topographic density variations**. Springer-Verlag: Journal

of Geodesy. v.78, p.34-39, 2004.
<https://doi.org/10.1007/s00190-003-0363-0>

SJÖBERG, L.E.. **A strict formula for geoid-to-quasigeoid separation.** Springer-Verlag: Journal of Geodesy. v.84, p.699-702, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00190-010-0407-1>

SJÖBERG, L.E., BAGHERBANDI, M.. **Gravity Inversion and Integration - Theory and Applications in Geodesy and Geophysics.** Springer International Publishing AG. 383p. 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50298-4>

SJÖBERG, L.E.. **On the geoid and orthometric height vs. quasigeoid and normal height.** Journal of Geodetic Science, v.8-1, p.115–120, 2018.
<https://doi.org/10.1515/jogs-2018-0011>

TORGE, W.. **Geodesy.** DE. G. Walter de Gruyter-Berlin-New York. 3ed. 416p. 2001.

VI. AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos: ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), à Prefeitura Municipal de Porto Alegre e ao LAGEO (Laboratório de Pesquisas em Geodesia da UFRGS) pelo compartilhamento de dados e estrutura de pesquisa.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA UMA NOVA LIGAÇÃO RIO-SÃO PAULO: MONOTRILHO DE ALTA VELOCIDADE

SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR A NEW RIO-SÃO PAULO CONNECTION: HIGH SPEED MONORAIL

JOÃO DALTON DAIBERT^{1,2}, TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA², VASSILIKI T. G. BOULOMYTIS¹

1 - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

2 - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

prof.joaodalton@ifsp.edu.br ; teofilo_miguel@yahoo.com.br ; vassiliki@ifsp.edu.br

Resumo – Proposta que visa diminuir a quantidade de veículos circulantes na Via Dutra, uma das principais rodovias do Brasil, dentro de padrões de inovação e soluções tecnológicas de ponta, aliadas à sustentabilidade, obedecendo ao ditado pelos ODS da Agenda 2030 da ONU. Consiste na construção de um monotrilho elevado que irá operar em alta velocidade, assente principalmente dentro da faixa de domínio dessa via, minorando a prática das desapropriações e do impacto ambiental no solo e subsolo. Adotará tração elétrica solar produzida por placas fotovoltaicas instaladas nessa mesma faixa de domínio, atendendo assim a baixa emissão de poluentes. Para confecção da estrutura de suporte e dos trilhos, poderão ser utilizados materiais compósitos, produzidos de cimento portland, rejeitos industriais e materiais inservíveis da própria região. Para modulação da obra deverá ser adotada construção pré-fabricada.

Palavras-chave: Monotrilho. Transporte. Sustentabilidade .

Abstract - Proposal that aims to reduce the number of vehicles circulating on Via Dutra, one of the main highways in Brazil, within standards of innovation and cutting-edge technological solutions, combined with sustainability, obeying the dictates of the UN Agenda 2030 SDG. It consists on the construction of an elevated monorail that will operate at high speed, based mainly within the range of this road, reducing the practice of expropriations and the environmental impact on the soil and subsoil. It will adopt solar electric traction produced by photovoltaic plates installed in this same area, thus meeting the low emission of pollutants. For the construction of the support structure and the rails, composite materials made from Portland cement, industrial waste and unserviceable materials from the region itself might be used. To modulate the work, prefabricated construction must be adopted.

Keywords: Monorail. Transportation. Sustainability.

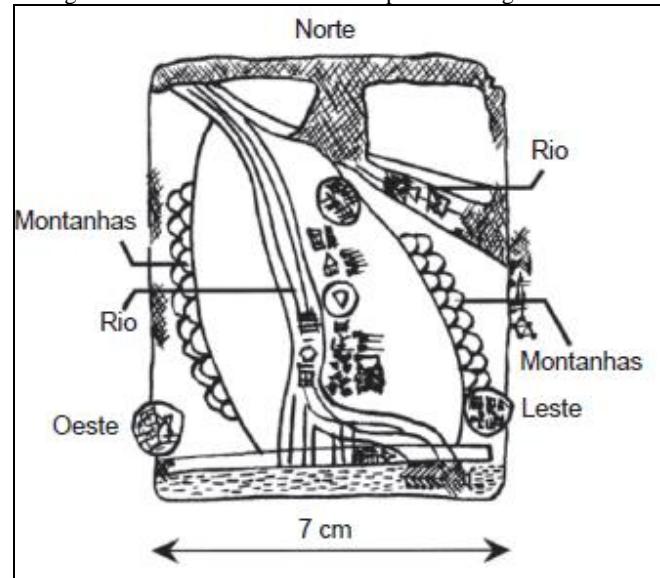
I. INTRODUÇÃO

1.1 Geral

A necessidade de locomoção do homem já se manifestou desde os primórdios da sua existência sobre o planeta. Por vários motivos, como mudança de local de morada, por escassez de caça, condições climáticas, e até mesmo para reuniões festivas, o homem se deparou com o problema do deslocamento, criando os primeiros mapas

(Figura 1). As formas encontradas para facilitar este deslocamento foram desde a criação dos veículos, terrestres e aquáticos, até a implantação dos caminhos que seriam as vias no futuro. Para os veículos terrestres, a propulsão destes se deu, inicialmente, por meio do emprego da força humana e do adestramento de animais. Para os veículos aquáticos, foram empregadas as forças da natureza como o vento e as correntes das águas (DAIBERT, 2014).

Figura 1 – Tablet de 2.500 a.C.: mapa mais antigo conhecido



Fonte: DAIBERT, 2014.

Com o passar do tempo, mais estradas e veículos foram desenvolvidos, até que surgiram os problemas como os congestionamentos, os acidentes e as poluições. (ARAGÃO et al., 2001).

O aumento da popularidade do veículo particular e os baixos orçamentos disponíveis para os planejadores de transporte público. (CEDER; ROBERTS; SCHERMURCKER, 2014)

É perceptível a saturação dos sistemas de transporte de passageiros a médias e longas distâncias entre cidades brasileiras, onde a sobrecarga reside no modo rodoviário,

principalmente nas grandes regiões metropolitanas (SERPA, 2014).

O transporte ferroviário no Brasil teve, nas primeiras décadas do século XX, os seus tempos áureos. Após 1950, entrou em deterioração e chegou ao modelo de privatização em 1990 (BUSSINGER, 2015; SERPA, 2014).

O caso da ligação entre as cidades do Rio e de São Paulo não foi diferente. Houve várias formas de se locomover entre as duas maiores cidades do Brasil durante muitos anos, como rodovias, ferrovias e aerovias. No entanto, as rodovias sobressaíram-se devido ao modelo brasileiro de transportes, de quase abandono das ferrovias e dos altos valores praticados nas aerovias (DAIBERT et al., 2014^a)

“Os serviços de transporte rodoviário interestadual e internacional de passageiros no Brasil são responsáveis por uma movimentação superior a 140 milhões de usuários/ano. Em 2008, o transporte rodoviário regular, em comparação ao aéreo, foi responsável por cerca de 70% do total dos deslocamentos interestaduais de passageiros. Sua participação na economia brasileira é expressiva, assumindo um faturamento anual estimado de mais de R\$ 3 bilhões (SERPA, 2014)”

A maioria dos serviços de locomoção por ônibus está trabalhando com capacidade máxima e não é confiável quanto aos horários de saída e chegada. O transporte público deve receber atenção prioritária para evitar maior deterioração da qualidade do ar, da segurança do tráfego, do congestionamento e do ruído (PUCHER; KORATTYSWAROOPAM; ITTYERAH, 2004)

1.2 Rodovia Presidente Dutra: principal ligação no trecho Rio-São Paulo

Criada como Rio-São Paulo em 1928, e inaugurada em 19 de janeiro de 1951, como BR-01, hoje chamada de BR-116, a Via Dutra só foi duplicada em 1965/67, sendo que em 1º de março de 1996 foi concessionada à iniciativa privada, passando a se chamar NOVADUTRA.

A Via Dutra tem início no Trevo das Margaridas, no km 163 da BR-116, na cidade do Rio de Janeiro, indo até o km 333,5 na divisa com o Estado de São Paulo, onde reinicia sua contagem, indo do km 0 até o km 236,3 na Marginal do Tietê da cidade de São Paulo. Com 170,5 km no Estado do Rio e 236,3 km no Estado de São Paulo, ela perfaz 406,8 km, hoje considerados 402 km por obras de retificação no traçado (CCR - NOVADUTRA, 1996; DNER-FASE I, 2001)

Pela Via Dutra é transportado aproximadamente 50% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, e tem 23 milhões de pessoas em 36 municípios, incluindo as que moram no seu entorno (CCR - NOVADUTRA, 1996)

Desde o início, é a escolha natural como o corredor prioritário no transporte rodoviário entre as citadas capitais, e também o papel mais importante no trajeto de ligação entre o sul e o norte do país. (ADAMO BAZANI, 2016).

1.3 O Trem Bala Rio-São Paulo-Campinas: solução sonhada

Em 2007 o Governo Federal lançou um edital para o projeto de um trem para ligar Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas, um TAV (Trem de Alta Velocidade), também

conhecido pelo apelido de “Trem Bala”, que deveria começar a circular na Copa do Mundo de 2014. Pouca notícia se tem para o insucesso de tal feito (CONSÓRCIO HALCROW – SINERGIA, 2009; SERPA, 2014).

As estações de parada para embarque/desembarque e carga/descarga ficariam localizadas nas cidades de Rio de Janeiro, Volta Redonda, Resende, Aparecida, São José dos Campos, São Paulo, Jundiaí e Campinas. Suas composições se deslocariam com tração elétrica, sobre trilhos de aço convencionais (CONSÓRCIO HALCROW – SINERGIA, 2009).

1.4 Monotrilho Rio-São Paulo: solução provável

Viabilizar uma nova via de escoamento desse trajeto, considerando ser impossível alargar a Via Dutra, (que já possui Faixa de Domínio estabelecida desde 1965) além do gasto bastante elevado, com novas desapropriações para um novo traçado. Assim sendo, a opção de estrada de rodagem fica descartada. Resta a outra opção terrestre que é a ferrovia, que embora já existente, tem construção e manutenção que estão aquém de atender a demanda exigida (CONSÓRCIO HALCROW – SINERGIA, 2009; DNER-FASE I, 2001; NOVAES et al., 2006).

A opção para proposição do monotrilho entre Rio e São Paulo foi tomada com base na análise de vários itens, comparando e analisando as opções de deslocamento aéreo, fluvial e terrestre.

O modal aéreo não permite escalas para embarque/desembarque dos passageiros e de pequenas cargas, questão de interesse do intercâmbio entre as cidades deste trajeto, além de operar com valores altos de seus serviços. O modal fluvial também não atende, pois demandaria obras de retificação de leito, eclusas, entre outras, além de não ligar as duas capitais, objeto da proposta. Assim sendo, quase que por exclusão, restou estudar o modal terrestre, indicando o monotrilho, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – monotrilho semelhante ao proposto



Fonte: <http://www.hitachi.ca/about/press/details/08302018.html>
(acesso em 11 set. 2019).

1.5 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é: estudar a viabilidade de reduzir o tráfego de veículos, principalmente os de transporte de passageiros, e os tempos de viagem dos que utilizam a Via Dutra, com conforto, segurança e pontualidade para os usuários, sejam eles passageiros, motoristas e mantenedores da via, através da implantação

um monotrilho impulsionado por energia renovável, para transporte de passageiros e de pequenas cargas, interligando as cidades de Rio de Janeiro e São Paulo, além de promover um melhor intercâmbio entre as cidades que este traçado contempla, dentro de parâmetros de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

1.6 Objetivos Específicos

- Estudar a viabilidade da implantação do Monotrilho no espaço não efetivamente utilizado pela estrada de rodagem na Via Dutra, dentro de sua Faixa de Domínio;
- Analisar a potencialidade do emprego de compósitos fabricados com materiais recicláveis para construção da estrutura de suporte do Monotrilho;
- Mostrar novas técnicas de construção para implantação de obras de grande porte;
- Prever impactos ambientais no subsolo, no solo, no ar, na paisagem e no ruído;
- Servir de material de consulta para estudos de viabilidade para rodovias com as características aqui apresentadas.

1.7 Considerações Gerais sobre Monotrilho

Monotrilho é um meio de transporte coletivo elétrico que pode alcançar à média-alta capacidade, e trafega sobre pneus em via exclusiva. O trem, com 4, 6 ou 8 carros, corre sobre uma viga elevada, que é seu trilho único. O monotrilho é o único meio de transporte em que a via tem largura inferior à do veículo (MARATHE; HAJIANI, 2015; SORIANO; MEIRA, 2018; SPTRANS, 2010)

O monotrilho é definido como um tipo de veículo leve sobre trilhos que ao invés de circular em um par de trilhos como as ferrovias tradicionais, circulam em um único trilho que pode ser metálico ou em concreto armado e que podem usar rodas metálicas, rodas com pneus de borracha ou levitação magnética e são movidos a energia elétrica (OLIVEIRA, 2010).

Dessa forma, a definição de MONOTRILHO não é muito clara. Semanticamente a palavra MONOTRILHO se refere a um trilho somente, em contraponto aos modelos comuns de transporte em dois trilhos.

Uma das primeiras notícias que aparecem na imprensa a respeito do Monotrilho data de 12 de agosto de 1901, referindo-se a uma implantação do sistema entre Manchester e Liverpool, conforme artigo constante do site Trove (AUSTRÁLIA, 2019).

Outra citação que merece destaque é a do Monotrilho da cidade de Wuppertal na Alemanha, de construção iniciada em 1901 e operação efetiva de 1903 até os dias de hoje (PEDERSEN, 2015).

Figura 3 – O Wuppertaler Schwbebahn, em Wuppertal na Alemanha.



Fonte: <https://www.atlasobscura.com/places/schwbebahn-wuppertal> (acesso em 20 ago. 2019).

1.8 Modelo Proposto de Monotrilho

A indicação do modelo de monotrilho foi realizada após o estudo comparativo das várias citações encontradas entre trabalhos publicados, sites de fabricantes e situações limitantes do local de implantação.

Existem vários modelos de monotrilho circulando em muitos países no mundo. A maioria deles está em operação atendendo a demandas urbanas. Existem poucos de média distância e nenhum de longa distância como o aqui proposto. Portanto, a escolha ora indicada leva em consideração o atendimento das necessidades levantadas e o crédito nas funcionalidades dos que operam com características semelhantes (OLIVEIRA, 2010; PEDERSEN, 2015).

Existem basicamente dois modelos que se aplicam ao interesse deste estudo, o modelo Straddle Type que se desloca sobre os trilhos, e o modelo Suspended Type, que se desloca sob os trilhos. A opção pelo Straddle Type se deu por se aproximar melhor das características exigidas para este caso, como a altura da pista à partir do solo para sua locomoção (PEDERSEN, 2015).

A Via sugerida se compõe de duas pistas, uma no sentido Norte-Sul do Rio para São Paulo, e outra atendendo o sentido contrário.

Como premissa, o serviço que mais importa é o ordinário (transporte de passageiros), considerando o deslocamento corriqueiro como trabalho, visitas, viagens de lazer e de turismo, conforme Quadro 1. Em seguida, os serviços comercial/industrial visando pequenas cargas, foram considerados para a indicação das instalações das Estações.

Quadro 1 – Terminais e Estações de Paradas

Cidade	Tipo	Motivo (além do ordinário)
Rio	Terminal	comerc., indust., lazer, turismo
Resende	Estação Tipo	lazer, industrial
Aparecida	Estação Tipo	lazer, turismo religioso
S. J. Campos	Estação Tipo	comerc., indust., lazer, turismo
São Paulo	Terminal	comerc., indust., lazer, turismo

Fonte: desenvolvido pelo autor

1.9 Escolha do local para implantação

Como espaço disponível para implantação recaiu sobre espaço não utilizado efetivamente pela rodovia, a solução para a locação do monotrilho ficou para o espaço entre os acostamentos e a divisa com lindeiros.

Foi considerado também que esta área já é desapropriada e uma nova obra causaria poucos impactos ambientais.

Figura 4 – Local de Implantação



Fonte: adaptação do autor sobre Google Earth

1.10 Impactos Ambientais

1.10.1 Poluição do Solo e Subsolo

Esta proposta sugere que a supressão vegetal seja feita somente nos locais de implantação dos pilares e as sondagens executadas pontualmente nos locais das fundações.

Figura 5 – Proposta para assentamento de pilares



Fonte: <http://www.monorails.org> (acesso em 20 mar. 2020).

1.10.2 Poluição do Ar

Sendo que a propulsão do monotrilho é elétrica, podemos considerar muito baixa a emissão de carbono, pois as placas fotovoltaicas que produzirão essa energia não emitem gás carbônico.

O que contará neste item é a quantidade de veículos de passageiros que deixarão de circular na Via Dutra, além da redução do número de viagens de ônibus e dos aviões.

1.10.3 Poluição Sonora

Por ser em pneus de borracha o contato físico do Trem sobre os trilhos, o ruído do deslocamento é bastante baixo, e o ruído produzido pelos motores elétricos é da ordem de 20 decibéis, também considerado de baixa intensidade (BOMBARDIER, 2020; PEDERSEN, 2015).

1.10.4 Poluição Visual

Com opiniões bastante controversas de aspectos negativos para a paisagem quanto sua implantação, até os positivos como o conforto visual para quem viaja, a implantação do monotrilho traz essa discussão.

Medidas de mitigação vêm sendo adotadas como a pintura do Trem e o revestimento vegetal da área abaixo da via, assim como o revestimento dos pilares para amenizar o aspecto bruto do concreto, conforme na Figura 5.

Figura 6 – Proposta para mitigar a poluição visual



Fonte: <http://www.monorails.org/tMspages/CnstSentosa01a.html> (em 19/07/2020).

1.11 O uso dos Materiais Alternativos

O emprego dos materiais ditos inservíveis para empregos nobres na construção civil, conhecidos como reciclagem de materiais, é a proposta deste trabalho para a composição do concreto nas peças de estrutura de suporte para o Monotrilho.

Ao longo da Via Dutra dispomos de escória de alto-forno, resíduos de fabricação de vidros, resíduos de construção civil e material asfáltico fresado, como mostra a Figura 7. Todos estes materiais se prestam à produção de compósitos junto ao cimento portland do uso corriqueiro do concreto.

Figura 7 – Proposta para assentamento de pilares



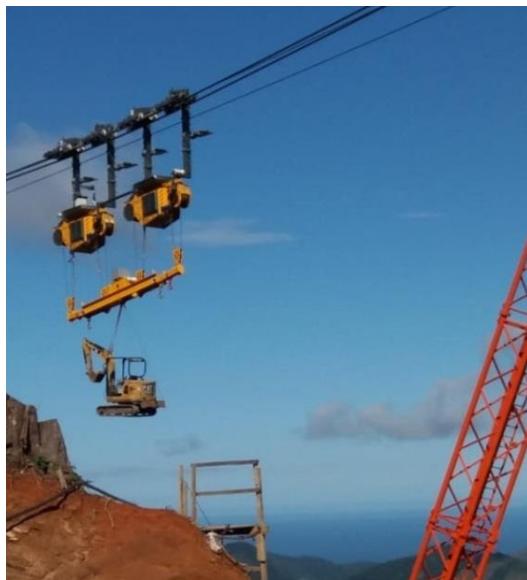
Fonte: <https://www.concessionariatamoios.com.br/> (em 20/11/2019).

1.12 O emprego de Técnicas Alternativas

Uma das técnicas sugeridas é o emprego de pré-fabricados que irão sendo construídos em pátios fixos ao longo do trecho, transportados e assentados no local de aplicação, como é o caso dos pilares, dos travessões, e das vigas-trilho.

A outra técnica que este estudo sugere, é a instalação provisória de um teleférico sobre o trecho da Serra das Araras, para o transporte aéreo do pessoal, maquinário e insumos, reduzindo substancialmente o Impacto Ambiental.

Figura 7 – Retroescavadeira transportada em teleférico



Fonte: <https://www.concessionariatamoios.com.br/> (em 20/11/2019).

II. METODOLOGIA

As pesquisas foram baseadas em levantamento de material publicado na internet em sites específicos, livros, artigos científicos, patentes, teses, fotos e ilustrações. Foram realizadas entrevistas presenciais e virtuais, com engenheiros e responsáveis. Foi visitada a construção da

Rodovia dos Tamoios e foi utilizado o smartphone (Whatsapp) por áudio/vídeo e a internet (e-mail).

Para levantamento de dados do transporte aéreo, foram contatadas as empresas aéreas LATAM, GOL e AZUL. Para viagens terrestres Rio-São Paulo o EXPRESSO DO SUL, KAISSARA, ÁGUIA BRANCA, 1001, CATARINENSE, PASSARO MARRON e CIDADE DO AÇO.

Para obtenção dos dados de tráfego dos veículos particulares e coletivos, foram utilizadas as informações fornecidas pela concessionária CCR NOVADUTRA.

Os dados foram tratados visando à obtenção dos valores que permitem as avaliações para se atingir os objetivos deste trabalho, além de servir como apoio a estudos e propostas do emprego de monotrilho em rodovias com características semelhantes à Via Dutra.

III. RESULTADOS

Hoje trafegam diariamente, em média, 40.000 automóveis e motocicletas no transporte individual, e 1.000 ônibus no transporte coletivo somado os dois sentidos, conforme mostra no Quadro 2.

Quadro 2 – Número de passageiros na Via Dutra (dois sentidos)

MOV. DIÁRIA - VIA DUTRA				
	CARROS	MOTOS	ONIBUS	TOTAIS
Nº VEÍCULOS	35.463	2.759	987	39.209
MÉDIA PASSAGEIROS	1,5	1	40	-
PASSAGEIROS	53.194	2.759	39.480	95.433

Fonte: CCR NOVADUTRA – adaptado pelo autor

O quadro 3 mostra, a quantidade de CO₂, em kg, que poderá ser evitada se for implantado o monotrilho proposto.

Quadro 3 – Quantidade de CO₂ na Via Dutra (dois sentidos).

EMISSÃO DE CO ₂ DIÁRIA (por passageiro)				
MODALIDADE	KgCO ₂ /km	pas/vei	KgCO ₂ /pas	totais
ONIBUS	1,28	40	0,016	632
CARROS	0,19	1,5	0,1268	4.497
MOTOS	0,07	1	0,0711	196
TOTAL (kg/passageiro)				5.325

Fonte: IPEA - adaptado pelo autor.

Supondo que o monotrilho atenda a expectativa da demanda, o número de passageiros transportados consta do Quadro 4.

Quadro 4 – Quantidade diária de passageiros no monotrilho

MOV. DIÁRIA – N° PASSAG MONOTRILHO - VIA DUTRA			
TRAJETO	RIO-S. PAULO	S. PAULO- RIO	TOTAIS
N° VIAGENS	19	19	38
N° DE VAGÕES	8	8	8
PASS/VAGÃO	103	103	103
PASS/VIAGENS	824	824	824
PASS/DIA	15.656	15.656	31.312

Fonte: desenvolvido pelo autor

IV. CONCLUSÃO

Conforme dados dos Quadros 3 e 4, 167.000 toneladas CO₂ diários estariam sendo retirados da Via Dutra, considerando que o 31.312 passageiros estariam utilizando o monotrilho, aproximadamente 33% da quantidade atual.

De acordo com estes dados, podemos avaliar a quantidade de passageiro que deixarão de circular e passarão a utilizar o monotrilho, com menos emissão de poluentes, acidentes, mais conforto, melhor visual da paisagem, já que o monotrilho tráfega acima dos veículos.

Acredita-se assim, que este estudo atinge positivamente sua proposta da possibilidade da implantação de um monotrilho ligando Rio a São Paulo, atendendo assim à redução de veículos de passageiros nesta Via, dentro dos parâmetros de Sustentabilidade e Gestão Ambiental.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMO BAZANI. **Diário do Transporte**. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2016/01/17/historia-da-rodovia-presidente-dutra-ligacao-rio-sao-paulo/>>. em 05/11/2019

ARAGÃO, J. J. G. DE et al. Transportes no Brasil: que história contar ? ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v. 9, p. 87–107, 2001.15/06/2019

AUSTRÁLIA, B. N. DA. **Trove**. Disponível em: <<https://trove.nla.gov.au>>. em 15/10/2019

BOMBARDIER. **BOMBARDIER**. Disponível em: <<https://rail.bombardier.com>>. em 07/07/2019

BUSSINGER, F. NOVOS CAMINHOS FERROVIÁRIOS. **ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, v. 6, n. 1, p. 110–116, 2015.

CARVALHO, C. H. R. Mobilidade urbana sustentável: conceitos, tendências e reflexões - IPEA <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/t_d_2194.pdf> em 23/10/2020

CCR - NOVADUTRA. **NOVADUTRA**. Disponível em: <<http://www.novadutra.com.br>>. em 15/06/2019

CEDER, A.; ROBERTS, M.; SCHERMBRUCKER, R. Investigation of SkyCabs Monorail System in Urban Regions. **Journal of Transportation Technologies**, v. 04, n. 01, p. 31–43, 2014. em 13/06/2019

CONSÓRCIO HALCROW – SINERGIA. **PROJETO TAV**

BRASIL - ESTIMATIVAS DE DEMANDA E RECEITA

Disponível em: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/5448/Trem_de_Alta_Velocidade___TAV.html#lista>. em 05/02/2019

DAIBERT, J. D. **Topografia - Técnicas e Práticas de Campo**. 2014. ed. São Paulo - SP: [s.n.].

DAIBERT, J. D. et al. **Rodovias - Planejamento, Execução e Manutenção**. 2014. ed. São Paulo - SP: [s.n.].

DNER-FASE I. **Edital NOVADUTRA - Fase I**. Disponível em:

<http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviarias/Nova_Dutra/index.html>. em 26/02/2019

MARATHE, R.; HAJIANI, N. D. A Review of Research on Monorail as an Alternative Mass Rapid Transit System.

International Journal of Science and Research (IJSR), v. 4, n. 2, p. 275–277, 2015. 07/02/2020

NOVAES, A. G. et al. Rodoviário, ferroviário ou marítimo de cabotagem? **ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, v. 14, n. 2, p. 11–17, 2006. em 21/04/2019

OLIVEIRA, U. DE F. Monotrilho—Uma Opção De Transporte Público Para a Região Metropolitana Da Grande Vitória. **Xlii Sbpo**, p. 1272–1283, 2010. em 18/10/2019

ONU/ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável . Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>> em 08/07/2019

PEDERSEN, K. **Monorail Society**. Disponível em: <<http://www.monorails.org>>. em 28/05/2019

PUCHER, J.; KORATTYSWAROOPAM, N.; ITTYERAH, N. The Crisis of Public Transport in India: Overwhelming Needs but Limited Resources. **Journal of Public Transportation**, v. 7, n. 4, p. 1–20, 2004.

SERPA, A. M. M. **EIXO RIO – CAMPINAS UMA ANÁLISE DO PROJETO DE TREM DE ALTA VELOCIDADE NO BRASIL**. [s.l: s.n.]. 15/05/2019

SIMÕES, R. D. B. A. et al. **Sistemas De Transporte De Passageiros De Interesse Regional E a Revitalização Da Ferrovia**. **ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**, 2015. em 15/02/2020

SORIANO, M. A. G.; MEIRA, L. H. Tomada de decisão em investimentos de infraestrutura para o transporte público. **Estudos e Pesquisas**, 2018. em 26/05/2020

SPTRANS. Características do Monotrilho. **Jornal do Onibus**, 2010 em 05/02/2020.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

PANORAMA DOS COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA DAS REGIÕES NORDESTE, SUL E SUDESTE DO BRASIL

OVERVIEW OF THE HYDROGRAPHIC BASIN COMMITTEES OF THE NORTHEAST, SOUTH, AND SOUTHEAST REGIONS OF BRAZIL

OLGA KELMAN BROCKI CALHMAN¹; MONICA DE AQUINO GALEANO MASSERA DA HORA¹

1 – DOCENTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

ocalhman@id.uff.br; monicahora@id.uff.br

Resumo – O funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica está baseado no tripé descentralização, participação e integração.

Os comitês criam a oportunidade para a sociedade participar na gestão da água e sua estruturação e funcionamento devem seguir as características de cada bacia ou região hidrográfica. Entretanto, como o Brasil tem realidades econômico-sócio-culturais diferentes, observam-se assimetrias entre os comitês. O presente artigo buscou apresentar um panorama dos principais comitês das regiões Nordeste, Sudeste e Sul. A partir dos resultados alcançados, pode-se constatar a forte dependência com o poder público, principalmente, quando não há o instrumento de cobrança pelo uso da água. Por outro lado, os comitês que dispõem da cobrança, ao adquirirem certa autonomia, conseguem apresentar resultados e dar respostas à sociedade, contribuindo para a minimização de conflitos.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Lei das Águas. Gestão participativa.

Abstract – The operation of a Hydrographic Basin Committees is based on the tripod decentralization, participation, and integration. The committees create an opportunity for society to participate in water management and its structuring and functioning must follow the characteristics of each basin or hydrographic region. However, as Brazil has different economic, socio-cultural realities, asymmetries are observed between the committees. This article sought to present an overview of the main committees in the Northeast, Southeast, and South regions. Based on the results, it can be seen the strong dependence on the public authorities to implement and operate a committee, mainly when there is no instrument for payment for water use. On the other hand, the committees that have this instrument, when they acquire a certain autonomy, can present results, and respond to society, contributing to the minimization of conflicts.

Keywords: Water resource management. Water Law. Participatory management.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, a gestão dos recursos hídricos tem sido norteada pela Lei nº 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e estabeleceu que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a

participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

A descentralização da gestão dos recursos hídricos constituiu passo importante e, nesse sentido, a Lei nº 9.433/97 abriu espaço para o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), incluindo-o como organismo deliberativo (BRASIL, 1997). Entre outras atribuições, os CBHs devem arbitrar conflitos relacionados aos usos dos recursos hídricos (FRACALANZA *et al.*, 2013).

Para Young (2018), os CBHs criam a oportunidade para a sociedade participar da gestão. Trata-se de um espaço colegiado para o debate sobre o destino das águas, uma vez que tem como representantes o poder público, os usuários e as organizações civis - o parlamento das águas (ANA, 2011a). Para Jacobi & Barbi (2007), o sistema de funcionamento dos comitês está baseado no tripé descentralização, participação e integração e é um processo ainda em consolidação.

De acordo com ANA (2020), a composição de um CBH deve refletir os múltiplos segmentos e interesses em cada bacia hidrográfica, pois cada uma possui suas peculiaridades e os usuários possuem diferentes prioridades de utilização das águas. Na opinião de Mascarenhas (2008), cada comitê deve seguir as características regionais de sua bacia.

A representatividade de cada segmento (poder público, usuários e sociedade civil) deve atender o que dispõe o art. 8º da Resolução nº 5 de 2000 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), sendo a distribuição da composição instituída pelo regimento interno de cada um (ANA, 2020).

Os CBHs podem ser interestaduais ou estaduais. Quando interestadual, o comitê irá gerir o território de uma bacia hidrográfica com rios de domínio da União, compartilhada também entre os estados, podendo ser um comitê único ou um comitê de integração (BARBOSA, 2019). De acordo com ANA (2020), atualmente, são 10 comitês interestaduais em funcionamento, a saber: CBH do Rio do Parnaíba; CBH do Rio São Francisco; CBH do Rio Verde Grande; CBH do Rio Paranaíba; CBH do Rio Doce; CBH do Rio Grande; CBH do Rio Paraíba do Sul; CBH dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH-PCJ); CBH do Rio Paranapanema e CBH do Rio Piranhas-Açu.

Por sua vez, o CBH é considerado estadual, quando estiver em uma bacia hidrográfica (ou unidade de gerenciamento) com águas de domínio somente do

respectivo estado (ANA, 2011b; BARBOSA, 2019). No Brasil existem, atualmente, 222 comitês estaduais - cerca de 36% na região sudeste, 24% na região sul, 23% na região nordeste, 12% no centro-oeste e 6% na região norte (ANA, 2020).

Entretanto, em muitas bacias ou regiões hidrográficas brasileiras os CBHs ainda não foram implantados, e, mesmo onde encontram-se ativos, convivem com limitações relacionadas à (i) integração, comunicação e retorno à sociedade, (ii) investimento inadequado dos recursos, (iii) escassez de recursos financeiros, (iv) resolução de conflitos relacionados aos usos múltiplos da água, dentre outros. (AGUIRRE *et al.*, 2013).

Considerando-se que, a priori, os comitês sejam a instância mais democrática para a gestão hídrica, urge a necessidade de pesquisar se ocorrem, e como ocorrem os processos de governança hídrica das bacias hidrográficas (LUZ, 2017).

De acordo com OGA-Brasil (2020), o acompanhamento dos CBHs, com foco em alguns indicadores que apontem seus sucessos bem como suas fragilidades, poderá auxiliar na definição de ações de comunicação, capacitação, qualificação, fiscalização e suporte técnico-gerencial para o seu funcionamento.

Diante do exposto, o presente artigo buscou apresentar um panorama de CBHs das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, pois conforme ANA (2007), na primeira, o fenômeno da seca tem repercussões graves e a água passa a ser fator de sobrevivência para as populações locais, já nas segunda e terceira regiões, a baixa disponibilidade de água para atender os diferentes usos está associada à conjugação de densidade populacional elevada com ocorrência de vazões específicas de média a baixa.

II. METODOLOGIA

O presente estudo fundamentou-se em uma pesquisa exploratória, documental, pois traz a abordagem sobre os CBHs baseada em conceitos preestabelecidos e pela legislação vigente. Desta forma, o estudo pode ser caracterizado, tal como definido por Marconi e Lakatos (2003) como um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo que se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais.

A pesquisa realizada se desenvolveu por intermédio da consulta documental disponível nos endereços eletrônicos da Agência Nacional de Águas (ANA), Ministério do Meio Ambiente (MMA), dos CBHs selecionados, e demais registros de órgãos gestores de recursos hídricos. Adicionalmente, foram consultadas informações em artigos científicos, livros, dissertações e teses.

Com base em critérios climáticos (estiagens severas), hidrológicos (baixa disponibilidade hídrica) e alta densidade populacional, para o presente estudo, foram selecionados os CBHs relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comitês Estaduais e Interestaduais de interesse ao estudo.

CBH	Municípios Envolvidos	Estado	Região
Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim	15	RS	Sul
Rio Santa Maria	6	RS	Sul
Rio Paranapanema	247	SP, PR	Sul
Rio Sergipe	26	SE	NE
Rio Japaratuba	20	SE	NE
Rio Piauí	15	SE	NE
Litoral Norte	51	PB	NE
Litoral Sul	9	PB	NE
Rio Paraíba	85	PB	NE
Rio Piranhas-Açu	147	PB, RN	NE
Rio Itaúnas	8	ES	SE
Rio São Mateus	11	ES	SE
Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo	24	MG	SE
Rio Guandu	15	RJ	SE
Rio Paraíba do Sul	184	RJ, SP, MG	SE

III. RESULTADOS

As impressões dos comitês foram consolidadas por região, o que significa que nem todos os comitês que a região abrange têm que necessariamente apresentar perfil e diagnóstico semelhantes.

3.1 – Regiões Sul e Sudeste

De acordo com FAPES/AGRH (2018 a,b), a partir de entrevistas realizadas, com relação aos aspectos de representatividade, participação, integração e descentralização foi possível inferir que a maioria dos representantes dos comitês do Sul e Sudeste se expressa positivamente com relação ao seu engajamento, vendo esta oportunidade como uma forma de contribuir para a gestão dos recursos hídricos e resolução de conflitos.

Há percepção, contudo, de uma lacuna na participação e interesse da população local nas atividades, o que acaba dando espaço para que as decisões sejam norteadas por interesses específicos e não coletivos (ALMEIDA, 2014).

Apresentam concentração de representantes em determinados municípios, o que dificulta uma gestão participativa e descentralizada (ALMEIDA, 2014; MEIER & BASSO, 2014).

O comparecimento às reuniões por parte de alguns membros, se restringe a assuntos pré-determinados (Young, 2018) e não devido à gestão da bacia como um todo, principalmente no segmento do poder público municipal, que geralmente encontra-se presente quando a reunião ocorre na sede do município e/ou quando o assunto da pauta é relevante para aquela determinada área geográfica (ALMEIDA, 2014).

Nos aspectos limitações técnicas, estruturais e de comunicação, foram identificadas carências na disponibilidade de recursos e infraestrutura para o funcionamento dos comitês como por exemplo alimentação

e transporte; instalações físicas inadequadas (ALMEIDA, 2014), conflitos de interesses entre seus representantes, comunicação incipiente com a população da bacia hidrográfica, falta de objetividade e pouca efetividade na divulgação das ações, morosidade e incerteza na tomada de decisão, pouca produtividade das câmaras técnicas (FAPES/AGRH, 2018b).

No que tange ao nível de instrução de seus representantes, a escolaridade é alta, à medida que a maioria de seus membros apresentam nível superior, alguns inclusive com pós-graduação. Essa variável destaca-se como um fator positivo, vindo a influenciar na qualidade dos debates, bem como na tomada de decisões (ALMEIDA, 2014; VASCONCELLOS, 2014; YOUNG, 2018; FAPES/AGRH, 2018 a,b). Alguns membros têm maior conhecimento dos objetivos que desejam atingir e compreendem a importância de sua participação (FAPES/AGRH, 2018 a,b).

Em relação ao conhecimento específico das questões desenvolvidas e a serem votadas em plenária, a falta de informações limita o poder argumentativo e, consequentemente, o posicionamento do representante (MEIER & BASSO, 2014).

Já nos aspectos de resolução de conflitos e de efetividade na aplicação dos instrumentos de gestão, observa-se que não há alinhamento (FAPES/AGRH, 2018 a,b; YOUNG, 2018).

Alguns instrumentos de gestão são bem conhecidos pelos representantes de alguns dos comitês, como a outorga e o plano de bacia (Almeida, 2014; Vasconcellos, 2014), sendo sempre mencionados nas plenárias, enquanto outros são menos conhecidos e/ou pouco efetivos, como o enquadramento dos corpos d'água em classes de usos (ALMEIDA, 2014). Com relação ao plano de bacia, alguns desconhecem o envolvimento da entidade que representam na elaboração do plano, além de pouco acesso às informações e comunicações internas, aos relatórios, projetos e ao banco de dados (ALMEIDA, 2014).

Especificamente com relação à cobrança pelo uso da água, existe uma relativa desconfiança de que a implementação desse instrumento seja a inclusão de mais um tributo (FORGIARINI *et al.*, 2006; FAPES/AGRH, 2018b). Ribeiro & Hora (2019) mencionam que alguns CBHs estão priorizando o estabelecimento de mecanismos e valores para a aplicação da cobrança como forma de se fortalecerem e conseguirem a autonomia necessária para dar andamento com a pauta do enquadramento e outras necessidades regionais.

3.2 – Região Nordeste

Com relação aos aspectos de representatividade, participação, integração e descentralização observa-se que os comitês do Nordeste apresentam resistência em realizar, de forma plena, a descentralização (MORAIS *et al.*, 2018). De acordo com o autor, em alguns comitês há a percepção de que o processo de gestão descentralizado e participativo é dificultado porque diversas instâncias governamentais estão historicamente acostumadas com a administração centralizada.

Matos (2015) identificou que algumas empresas que participam dos comitês, apenas o fazem com o propósito de acompanharem as alterações que podem/poderão ocorrer na legislação ambiental e/ou aquelas que possivelmente

impactarão de forma negativa ou positiva seu ambiente de negócios, tanto no que se refere à institucionalização da cobrança pelo direito de uso da água, quanto à obtenção de certificações.

Boa parte dos representantes desconhece os reais problemas da bacia, porém, a maioria reconhece a importância dos comitês e entende que o efetivo papel de acompanhar, cobrar e reivindicar é necessário para que as deliberações se concretizem, mas que é algo ainda a ser alcançado (MATOS, 2015).

Quanto à motivação pessoal, predominam questões de interesse no âmbito individual, do que propriamente no âmbito institucional. Essa situação se revela como um dos principais problemas dos comitês (MATOS, 2015).

Como condições necessárias à efetividade do comitê, fazem referência à falta de autonomia administrativa e financeira, havendo também fraca integração social. Muitos participam, mas não há articulação com outras instituições da sociedade civil e do poder público, de modo a permitir maior disseminação, conhecimento acerca dos problemas e das especificidades das bacias (FERNANDES & PEREIRA, 2011; MATOS, 2015).

Dados demonstram que de maneira geral não há atores predominantes, prevalecendo um equilíbrio na participação dos três segmentos com certa hegemonia por parte dos representantes do poder público e dos usuários (MORAIS *et al.*, 2018).

Constata-se também dificuldade na sustentação política do modelo, devido ao não reconhecimento, por parte da população da bacia do efetivo papel dos comitês e pelo controle exercido pelo governo sobre os outros segmentos que compõem os colegiados (MORAIS *et al.*, 2018).

No que tange às limitações técnicas, estruturais e de comunicação, Morais *et al.* (2018) observam que com relação à análise do estágio de implementação e de funcionamento, os comitês do Nordeste se encontram em diferentes níveis, havendo uma graduação no envolvimento dos agentes sociais, mais ou menos investimento para sua implantação, fatores esses que variam conforme a bacia, que está imersa em uma cultura, região e economia determinada, o que significa dizer que o fator histórico-cultural contribui, em demasia, para a definição dessa estrutura.

De acordo com Matos (2015), os comitês não conseguem acompanhar as demandas da sociedade, que espera respostas mais imediatas para os problemas identificados. A dependência com o poder público faz com que os comitês não possuam autonomia e dinâmica necessárias.

Além disso, Morais *et al.* (2018) identificaram que a maior parte dos comitês não possui uma política de capacitação efetivamente implementada. Esta capacitação seria de fundamental importância para a eficiência dos comitês (GUTIERREZ, 2006; LANNA, 2010; LEMOS, 2011).

Já nos aspectos de resolução de conflitos e efetividade na aplicação dos instrumentos de gestão, observa-se que os comitês ainda não adquiriram essa autonomia (MATOS, 2015; MORAIS *et al.*, 2018). Ribeiro & Hora (2019) mencionam que muitos CBHs estão estudando mecanismos e valores que possibilitem a aplicação da cobrança, todavia, apesar dos esforços, a realidade do semiárido nordestino dificulta a sua implementação nos moldes previstos pela PNRH e impede que os comitês tenham autonomia na definição dos mecanismos a serem

adotados. Como a autonomia não consegue ser exercida, o funcionamento do comitê é garantido, com muitas restrições, pelos governos estaduais através dos órgãos responsáveis pela implantação da política de recursos hídricos (MORAIS *et al.*, 2018).

Outra situação identificada está relacionada à realização de convênios com instituições financeiras internacionais, cuja formatação da proposta por vezes sequer é discutida no comitê, havendo, nestes casos, exigência de sigilo por parte do governo estadual. Este fato sinaliza para o não reconhecimento do comitê como espaço para encaminhamento e decisão das ações necessárias à preservação da bacia (MATOS, 2015).

Os assuntos mais discutidos durante as reuniões têm prioritariamente relação com a elaboração dos planos de bacia e procedimentos internos burocráticos de funcionamento. Constata-se que os temas mais críticos e conflituosos não são recorrentes nas reuniões (FERNANDES & PEREIRA, 2011).

IV. CONCLUSÃO

A implantação da gestão integrada das águas no Brasil se fundamenta na descentralização e participação, e, para que isso seja efetivo há necessidade que se repense nas assimetrias entre os comitês das diversas regiões brasileiras e as que tem relação com o envolvimento/comprometimento da sociedade em questões relacionadas aos recursos hídricos.

Inegavelmente, o Brasil tem realidades econômico-sócio-culturais distintas, e essa condição dificulta a efetivação do processo de implantação e funcionamento dos comitês, que passam a depender do poder público, principalmente, quando não há a cobrança pelo uso da água. Por outro lado, os comitês que dispõem de instrumentos de gestão como a cobrança pelo uso da água, ao adquirirem uma certa autonomia, conseguem apresentar resultados e dar respostas à sociedade, contribuindo para a minimização de conflitos.

V. REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Disponibilidades e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos, v. 2. Brasília: ANA, 2007.
- _____. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz**. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 1. Brasília: ANA, 2011a.
- _____. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: prática e procedimento**. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos, v. 2. Brasília: ANA, 2011b.
- _____. **Comitês de Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hídricos/comites-de-bacia-hidrografica/comite-de-bacia-hidrografica-interestaduais>>. Acesso em 15 jun. 2020.
- AGUIRRE, Sara Marcela Vera; PRADO, Rachel Bardy, MILÁN, Pedro Medelín; RIBBE, Lars. Avaliação da Governança da Água em Bacias Hidrográficas do Rio de Janeiro como Suporte ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos. In: **XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Bento Gonçalves, RS, 2013.
- ALMEIDA, Moisés da Silva. **O Papel do Comitê de Bacia dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo (MG): Uma análise da efetivação da gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, Brasil. 2014.
- BARBOSA, Flávia Darre. **Comitês de Bacias Hidrográficas, Representação e Participação: Desafios e Possibilidades à Gestão da Água e dos Recursos Hídricos no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 2019.
- BRASIL. Lei nº 9.433. Política Nacional de Recursos Hídricos. Presidência da República. **Diário Oficial da União**, nº 6, 9 jan., Seção 1. Brasília. pp. 470-474, 1997.
- FAPES/AGERH. Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo/Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Diagnóstico e Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Itaúnas – Relatório de Percepção Ambiental**. Espírito Santo, 2018a.
- _____. **Diagnóstico e Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus – Relatório de Percepção Ambiental**. Espírito Santo, 2018b.
- FERNANDES, Vanessa Oliveira; PEREIRA Hevelyne Figueiredo. Importância dos Comitês de Bacias Hidrográficas na evolução da gestão dos recursos hídricos no Estado da Paraíba. In: **IV WORLD WATER CONGRESS**, Porto de Galinhas, PE, 2011.
- FORGIARINI, Francisco Rossarolla; SILVEIRA, Geraldo Lopes da; BURGER, Maria Inês; ZIEGLER, Guilherme La Flor; TAMIOSSO, Marilia Ferreira; RIVÉ, Michelle Fuentes. Conhecimento social do novo modelo de gestão dos recursos hídricos no Brasil: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Santa Maria/RS. In: **I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL - SUDESTE**, Curitiba, PR, 2006.
- FRACALANZA, Ana Paula; JACOB, Amanda Martins; EÇA, Rodrigo Furtado Justiça Ambiental e Práticas de Governança da Água: (re) introduzindo questões de igualdade na agenda. **Ambiente & Sociedade**, 16(1), 19-38, 2013.
- GUTIÉRREZ, Ricardo A. Comitê Gravataí: Gestão participativa da água no Rio Grande do Sul. **Lua Nova** [online], 69, p. 79-121, 2006.
- JACOBI, Pedro Roberto; BARBI, Fabiana. Democracia e participação na gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Rev. Katálysis**, 10(2), 237-244, 2007.
- LANNA, Antonio Eduardo Leão. **O desmonte do Sistema Estadual de Recursos Hídricos**. 2010. Disponível em: <<http://www.creadigital.com.br/rs/edulanna?txt=3077363130>>. Acesso em 14 jun. 2020.
- LEMOS, Maria Carmen. Informação Técnica e Gestão Participativa de Bacias Hidrográficas no Brasil. In: ABERS, R. N. (Org.). Água e política: atores, instituições e poder nos organismos colegiados de bacia hidrográfica no Brasil. São Paulo: Annablume, p. 191-209, 2010.

LUZ, Josiane Paula da. **A governança dos recursos hídricos no Comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica Taquari-Antas.** Tese (Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento), Centro Universitário Univates, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, RS, Brasil. 2017.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MASCARENHAS, Ana Cristina Monteiro. **Conflitos e gestão de águas: O caso da bacia hidrográfica do rio São Francisco.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. 2008.

MATOS, Silvia Maria Santos. **O Parlamento das Águas: A Experiência dos Comitês de Bacia Hidrográfica na Política de Recursos Hídricos em Sergipe.** Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. 2015.

MEIER, Mara Alini; BASSO, Luís Alberto. A Representação e a Representatividade Social do Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim/RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, 18(3), 117-134, 2014.

MORAIS, José Luciano Mendonça; FADUL, Élvia; CERQUEIRA, Lucas Santos. Limites e Desafios na Gestão de Recursos Hídricos por Comitês de Bacias Hidrográficas: Um Estudo nos Estados do Nordeste do Brasil. **REAd**, 24(1), 238-264, 2018.

OGA-Brasil. Observatório das Águas. **Missão, Objetivos e Princípios.** Disponível em: <<https://observatoriodasaguas.org/missao-objetivos-e-principios/>>. Acesso em 15 jun. 2020.

RIBEIRO, Paulo Eduardo Aragon Marçal; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera da. 20 anos da lei nº 9.433/97: percepções dos comitês de bacia hidrográfica e dos órgãos gestores acerca da implementação da política nacional de recursos hídricos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 16(e1), 1-13, 2019.

VASCONCELLOS, Patricia Lemos de. **Comitês de Bacia Hidrográfica do Estado do Rio de Janeiro: Avanços e dificuldades na gestão das águas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2014.

YOUNG, Juliana. **Paradigmas da participação pública: Uma análise da efetividade dos Comitês de Bacia do RS por meio da proposição de indicadores de desempenho.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil. 2018.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

VIABILIDADE DO USO DE REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA MODELAGEM DE UMA BACIA BRASILEIRA

FEASIBILITY OF THE USE OF HOMOGENEOUS HYDROLOGIC REGIONS IN THE MODELING OF A BRAZILIAN BASIN

JORGE DANIEL PÁEZ MENDIETA¹; IEDA GERIBERTO HIDALGO¹

1 – UNIVERSITY OF CAMPINAS (UNICAMP)

paezjor@gmail.com; ihidalgo@unicamp.br

Resumo – A modelagem das bacias hidrográficas torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões. Neste artigo, analisamos a viabilidade do uso de regiões hidrologicamente homogêneas para a Bacia do Alto São Francisco (BASF). A viabilidade é analisada comparando duas formas de modelagens, por meio de oito indicadores de desempenho. A modelagem, calibração, validação e simulação são realizadas na plataforma de simulação hidrológica RS MINERVE, utilizando o modelo conceitual-determinístico HBV. A primeira modelagem é feita considerando três regiões hidrologicamente homogêneas. Para a segunda, 21 sub-bacias são consideradas. A partir das comparações realizadas, concluímos que as duas formas de modelagem apresentam bons resultados. Portanto, a modelagem simplificada pode ser considerada uma alternativa à modelagem completa quando necessário.

Palavras-chave: Simulação hidrológica. Indicadores de desempenho. Bacia do Rio São Francisco.

Abstract - The modeling of watersheds becomes an important tool for decision making. In this paper, we analyze the feasibility of using hydrologically homogeneous regions for the Upper São Francisco Basin (USFB). Feasibility is analyzed by comparing two forms of modeling, using eight performance indicators. Modeling, calibration, validation and simulation are performed on the RS MINERVE hydrological simulation platform, using the HBV conceptual-deterministic model. The first modeling is done considering three hydrologically homogeneous regions. For the second, 21 sub-basins are considered. From the comparisons made, we conclude that the two forms of modeling have good results. Therefore, simplified modeling can be considered an alternative to complete modeling when necessary.

Keywords: Hydrological simulation. Performance indicators. São Francisco River Basin.

I. INTRODUCTION

According to the National Water Agency (ANA), Brazil has twelve hydrographic basins. One of the main ones is the São Francisco River Basin (SFRB) of great importance for the country for its historical, energetic, economic, social and environmental contribution to the region. More than 18 million people live in the SFRB area. (MENDIETA, 2018; ANA, 2020a; CBHSF, 2020a).

SFRB plays an important role in hydroelectric power generation because most of the large Brazilian hydroelectric power plants (HPPs) are located in this region. The hydroelectric development of the São Francisco River represents the basis of the energy supply of the northeast of

Brazil, since approximately 65% of the electricity generated in the SFRB is destined for this region of the country. Among the main reservoirs of the HPPs on the São Francisco River, used for flow control and/or hydroelectric power generation, is the Três Marias HPP, located in the Upper São Francisco Basin (USFB), in the state of Minas Gerais. This HPP has a fundamental role in the regularization of the São Francisco River, as it is located in the highest part of the SFRB and allows the release of stored water for the downstream section during periods of drought (MENDIETA, 2018; SILVÉRIO *et al.*, 2018).

From 2012 to 2018, the USFB suffered continuous drought and adverse hydrological conditions, with below average flows and rainfall. These climatological events affected the storage levels of the Três Marias HPP reservoir. During this period, the useful volume of the reservoir decreased to less than 50% (MENDIETA, 2018; ANA, 2020b).

These events clearly indicate the need for water resource management to prevent future collapses in the water supply for its various uses. Meeting demands and ensuring water supply depends on the adoption of measures aimed at planning water use. In this sense, watershed modeling becomes an important tool for decision making. Often, decisions must be made quickly from simulations of hydrological models. The larger the hydrological model, the more input data is needed and the longer it takes to obtain results that help in decision making.

II. MATERIALS AND METHODS

2.1 - Study Region: Upper São Francisco Basin (USFB).

USFB is located in the central region of Minas Gerais and has an area of approximately 51,000 km², covering about 106 cities. This basin originates in the Serra da Canastra where the São Francisco river is born in the county of São Roque at 1,460 meters altitude. After traveling 570 km, the São Francisco river is barred forming the reservoir of Três Marias HPP. This reservoir formed by the dam corresponds to the USFB drainage area, which includes the sources of the São Francisco, Pará, Paraopeba rivers and their tributaries to the Três Marias HPP dam of Energy Company of Minas Gerais S.A. Figure 1 shows the location of the SFRB, the Drought Polygon, the USFB and the Três

Marias HPP. (EUCLYDES *et al.*, 2001; MENDIETA, 2018).

Figure 1: Location of USFB and Três Marias HPP

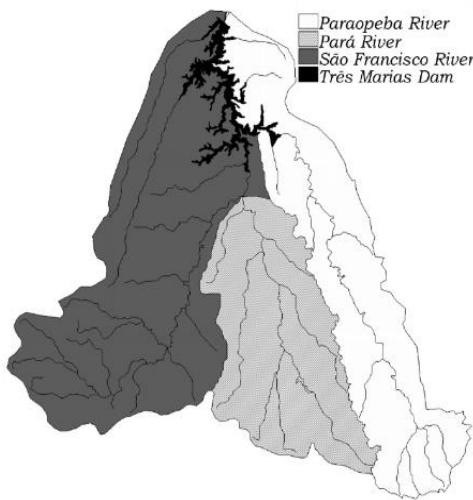


Source: LERNER, 2006 (adapted).

2.2 - USFB's Hydrologically Homogeneous Regions

EUCLYDES *et al.*, (2001) developed a study of regionalization of the USFB, considering the sub-basins and the fluvimetric and pluviometric stations of the region. According to this study, USFB has three hydrologically homogeneous regions. This classification establishes that each of these regions have the same hydrological characteristics in all their extension. Figure 2 shows the hydrologically homogeneous regions of the USFB, obtained in the regionalization study. The three homogeneous regions identified in this study were considered for the development of the hydrological modeling for USFB.

Figure 2: USFB hydrologically homogeneous regions.



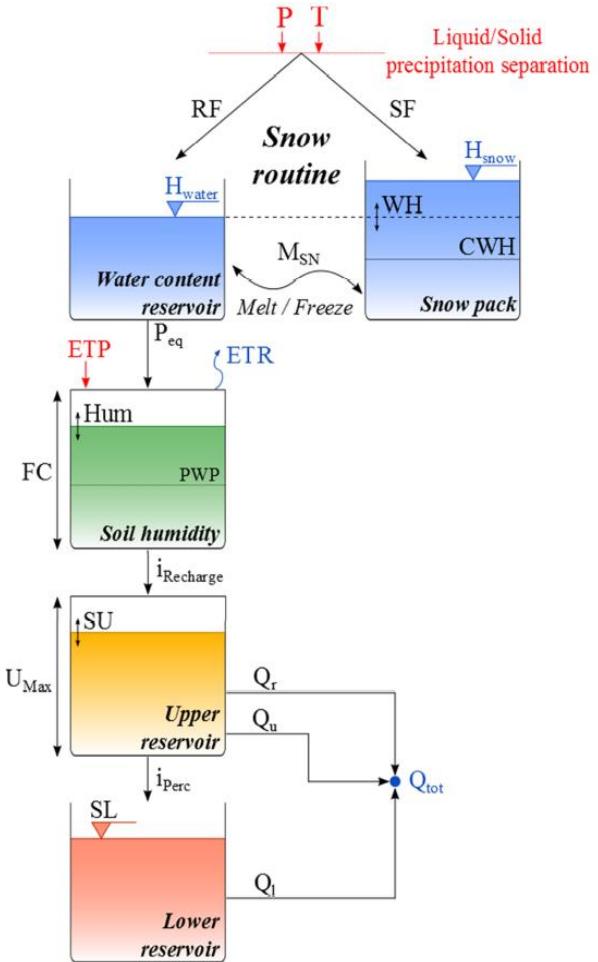
Source: EUCLYDES *et al.*, (2001).

2.3 - HBV Model Description

HBV (Hydrologiska Byrån Vattenbalansavdelning) is a deterministic-conceptual model that estimates the runoff in a basin from daily precipitation, temperature and evapotranspiration data. The integrated rainfall-runoff model HBV is composed of a snow function, a humidity reservoir and two (upper and lower) soil storage reservoirs

(HERNÁNDEZ *et al.*, 2017). The structure of the implemented model is presented in the Figure 3.

Figure 3: HBV model



Source: HERNÁNDEZ *et al.*, 2017.

It is represented by various routines such as snow melt, moisture and evapotranspiration calculation, or the evolution of groundwater. These processes are described thanks to three configured reservoirs by linear equations and by a triangular function. The model uses a total of 14 parameters (Table 1), of which 6 correspond to a snow submodel that separates liquid from solid precipitation.

The HBV model is inserted in the computational platform for hydrological simulations RS MINERVE. RS MINERVE is characterized as modeling software oriented to objects. These objects can be called Base objects, Routing objects Canal, Hydraulic and Regulatory Infrastructure objects and Standard objects. Base objects are composed mainly of hydrological models and are used for hydrological simulation. Channel routing objects are objects used to simulate river flow transfer. The objects Hydraulic and Regulation Infrastructures are objects used for infrastructure simulation such as reservoirs, turbines or spillways. Standard objects are necessary to feed, structure and calibrate hydrological models.

Table 1 - List of parameters for the HBV model.

Symbol	Description	Unit
CFMax	Melting Factor	mm/°C/day
CFR	Refreezing Factor	-
CWH	Critical water content (Snow pack)	-
TT	Threshold temperature of rain/snow	°C
TTInt	Temp. interval for rain/snow mixing	°C
TTSM	Threshold temp. for snow melt	°C
Beta	Shape coefficient	-
FC	Maximum soil storage capacity	m
PWP	Soil permanente wilting point	-
SUMax	Upper Reservoir water level	m
Kr	Near surface flow storage coefficient	1/day
Kv	Interflow strage coefficient	1/day
Kl	Baseflow storage coefficient	1/day
Kperc	Percolation storage coefficient	1/day

Source: HERNÁNDEZ *et al.*, (2017).

A flexible objective function (OF) has been developed on the platform for the calibration module that can be adapted to the user's needs. The OF is defined by Equation 1 and takes into account the ideal values of eight indicators (Table 2).

$$OF = \max (Nash \cdot w_1 + Nash\text{-}ln \cdot w_2 + Pearson \cdot w_3 + KGE \cdot w_4 + BS \cdot w_5 - RRMSE \cdot w_6 - |RVB \cdot w_7| - |NPE \cdot w_8|) \quad (1)$$

Table 2 - Intervals and ideal values of the indicators.

Indicator	Weight	Range Value	Ideal Value
Nash	w ₁	- ∞ a 1	1
Nash\ln	w ₂	- ∞ a 1	1
Pearson's Correlation	w ₃	- 1 a 1	1
KGE	w ₄	- ∞ a 1	1
BS	w ₅	0 a 1	1
RRMSE	w ₆	- 0 a + ∞	0
RVB	w ₇	- ∞ a + ∞	0
NPE	w ₈	- ∞ a + ∞	0

Source: HERNÁNDEZ *et al.*, (2017).

According to HERNÁNDEZ *et al.* (2017), Nash indicator is used to evaluate the performance of hydrologic models at high flow rates and ranges from -∞ to 1, with 1 representing the best model performance. The Nash\ln indicator for logarithmic flow values is used to evaluate the performance of hydrologic models at low flows and ranges from -∞ to 1, with 1 representing the best model performance. The Pearson's Correlation Coefficient shows the covariability of simulated and observed discharges and ranges from -1 to 1, with 1 representing the best performance of the model. The Efficiency of Kling Gupta (KGE) indicator facilitates the global analysis based on different components (correlation, trend and variability for hydrological modeling problems) and ranges from 0 to 1, with 1 representing the best performance. The Bias Score (BS) indicator is an indicator used as a symmetric estimate of the combination between the average simulation and average observation and ranges from 0 to 1, with 1

representing the best performance of the model. The Relative Root Mean Square Error (RRMSE) indicator is defined as the normalized relative mean square root error for the average of the observed values, ranging from 0 to + ∞ (values closer to 0 indicate better model performance). The Relative Volume Bias (RVB) indicator corresponds to the relative error between the simulated and observed volumes during the period studied, which could vary from -1 to + ∞, where a value close to 0 indicates a good simulation performance. The Normalized Peak Error (NPE) indicator, indicates the relative error between the simulated and recorded flow peaks and varies from -∞ to + ∞. The values close to zero of this indicator indicate a good performance of simulated peaks in relation to those observed.

2.4 - USFB's Hydrological Modeling

The hydrological modeling of the USFB is constructed using the objects inserted in the RS MINERVE platform that transforms the precipitation (mm/d) and evapotranspiration (mm/d) data into total affluent flow (m³/s) for the Três Marias reservoir. The hydrological modeling of the USFB consists of seven objects, shown in Figure 4. Following from left to right, the first object (Base object: Virtual Station) provides precipitation and evapotranspiration data for the second object (Base Object: HBV Model). The third object (Standart object: Comparator) receives the simulated water flow of the second object (HBV model) and the registered water flow of the fourth object (Standart object: Source). Finally, the simulated total affluent flow from the second object (HBV Model) is sent to the fifth object (Standart object: Junction) which receives all the simulated total affluent flow in USFB to be compared in the seventh object (Comparator) with the registered water flow provided by the sixth object (Source). Subsequently, the simulated total affluent flow is directed to the reservoir of the Tres HPP, resulting in the volume of water accumulated in the reservoir and in hydroelectric production.

According to Figure 4, the input data are precipitation and evapotranspiration. Precipitation data are provided by the ANA and are available for 49 measurement stations for the period from 1987 to 2016 with daily discretization. The most complete information for such precipitations is obtained from 1987 to 2004.

The evapotranspiration data comes from the National Meteorological Institute of Brazil through the Meteorological Database for Teaching and Research database. They are presented to ten measurement stations, for the period from 1987 to 2016 discretized monthly. The period between 2002 and 2004 corresponds to the best data set due to the amount of information available for the ten stations. To assess the performance of hydrological modeling, the outputs are compared to the registered water inputs. Water input data is also provided by ANA via Hidroweb. They are available for 21 measurement stations, again in the period from 1987 to 2016 with daily discretization, with consistent data from 1987 to 2005.

Figure 5 shows an overview of the complete hydrological modeling of the USFB represented by three hydrologically homogeneous regions: Region 1 - Paraopeba River, Region 2 - Pará River and Region 3 - São Francisco River and Figure 6 shows the hydrological modeling considering all the sub-basins that make up the USFB.

Figure 4: Objects used for the hydrological modeling in the RS MINERVE platform.

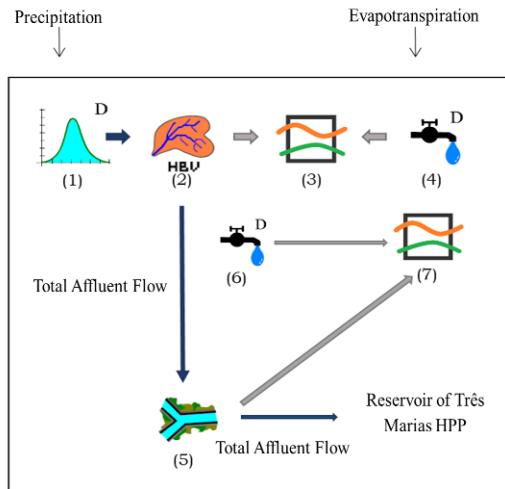


Figure 5: Overview of the hydrological modeling considering the three hydrologically homogeneous regions of the USFB.

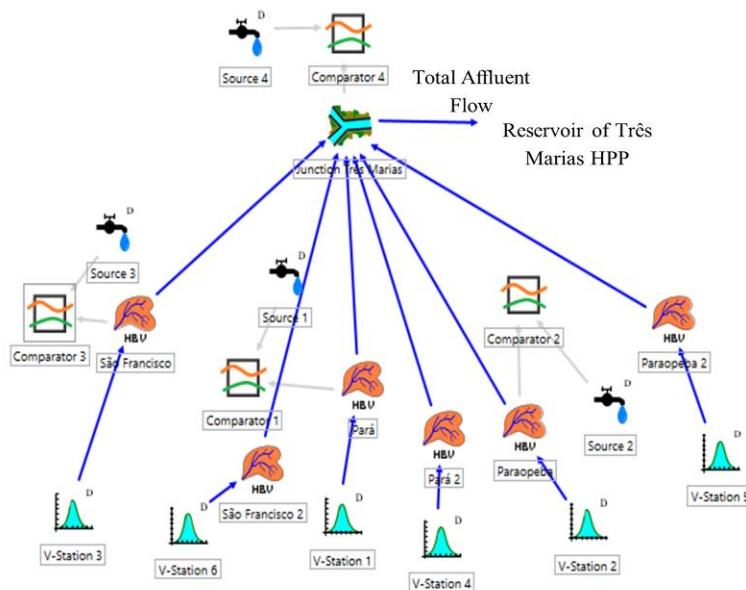
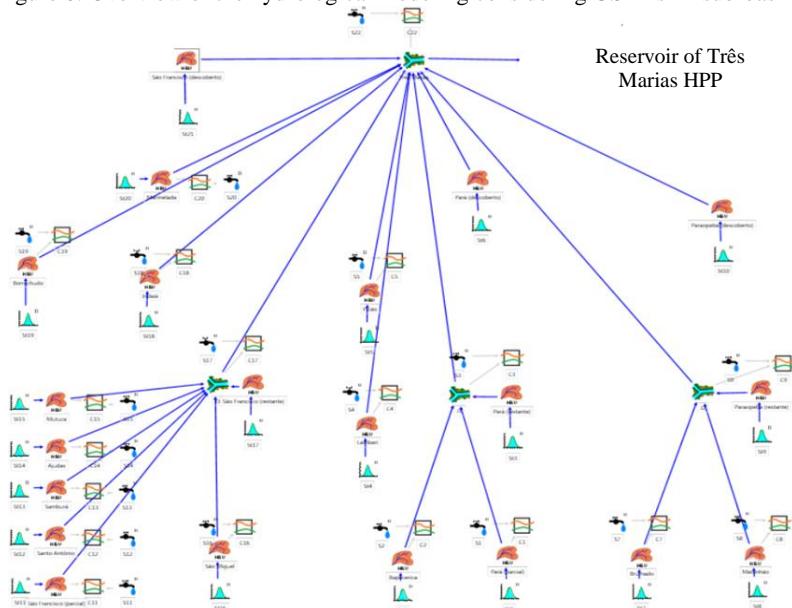


Figure 6: Overview of the hydrological modeling considering USFB's 21 sub-basins.



III. RESULTS AND DISCUSSION

For the hydrological modeling calibration, validation and simulation process, the availability and quality of the data were considered. In this sense, all temperature and evapotranspiration data were analyzed. From this analysis it was observed that the most complete and qualitative data available for temperature and evapotranspiration were found between 1999 and 2004. Consequently, the hydrological modeling was calibrated for

the period from 1999 to 2002, validated in 2003 and simulated in 2004. To examine the performance of hydrological modeling, the Comparator object was evaluated in the Três Marias reservoir, considering the eight indicators previously detailed in Table 2. The performance indicator values after the calibration, validation and simulation process in the Três Marias reservoir at the end of the USFB are detailed from Table 3 to Table 5 considering the hydrologically homogeneous regions (Modeling A) and the sub-basins of the USFB (Modeling B).

Table 3: Performance indicators after the calibration process.

Indicator	(Modeling A)	(Modeling B)	Ideal Value
Nash	0.63175	0.87287	1
Nash-In	0.66676	0.89635	1
Pearson	0.93899	0.93892	1
KGE	0.50769	0.89645	1
BS	0.79423	0.99579	1
RRMSE	0.63689	0.37422	0
RVB	0.45362	0.06491	0
NPE	0.13584	0.00409	0

Table 4: Performance indicators after the validation process.

Indicator	(Modeling A)	(Modeling B)	Ideal Value
Nash	0.92957	0.86059	1
Nash-In	0.95835	0.91432	1
Pearson	0.96486	0.94168	1
KGE	0.96477	0.81704	1
BS	1	0.96647	1
RRMSE	0.25885	0.36417	0
RVB	-0.00044	-0.15478	0
NPE	-0.00032	-0.10243	0

Table 5: Performance indicators after the simulation process.

Indicator	(Modeling A)	(Modeling B)	Ideal Value
Nash	0.86379	0.81557	1
Nash-In	0.94737	0.91573	1
Pearson	0.93072	0.93526	1
KGE	0.86441	0.80196	1
BS	0.99999	0.94894	1
RRMSE	0.35036	0.40768	0
RVB	-0.00246	-0.18431	0
NPE	-0.15513	-0.21294	0

Table 3 shows that the Modeling B calibration indicator values are closer to the ideal values. It is also observed that the indicators of Modeling A present values that are also found within the range of values established by HERNÁNDEZ *et al.*, (2017). However, if we compare with the indicators of Modeling B, we can probably conclude that Modeling B fits the parameters better than Modeling A. In this sense, MORIASI *et al.*, (2007) established guidelines for the evaluation of hydrological models, including some hydrological models inserted in the RS MINERVE platform. In general, simulations of hydrological models can be judged satisfactory if $0.50 < \text{Nash} \leq 0.65$ and $0.60 < \text{RRMSE} \leq 0.70$. From the research is possible to conclude that the Modeling A calibration process is considered satisfactory.

Table 4 shows the Modeling A and B indicators for the validation process. The values of the Modeling A indicators are closer to the ideal values than the values of the Modeling B indicators. At the same time it is noted that the values of

the modeling A and B indicators are very close and that there is not much difference between a value of the other reason why it is also concluded that the two models are very good.

Table 5 shows the performance indicators for the simulation process for models A and B. All indicators are close to the ideal values and there is no significant difference between the values of the indicators of modeling A and B.

IV. CONCLUSIONS

The results show that, for the two forms of modeling analyzed, they present good performance. Theoretically, a more detailed modeling should present better results than a simplified modeling. However, if simplified modeling also shows good results it can be employed because it has the advantage of being more concise and requiring less input data.

The main advantage is noticeable when decreasing the number of sub-basins to perform the simulations, i.e., of 21 sub-basins (Modeling B) only three regions (Modeling A) are used. This allows to save time in the input data (precipitation, evapotranspiration or temperature) and in the use of objects in the platform because it only directs itself in those stations located at the end of the three homogeneous regions (Três Marias HPP).

Considering that from the comparison of the two forms of modeling and the results of the performance indicators obtained in the calibration, validation and simulation processes, it can be concluded that the use of hydrologically homogeneous regions in the modeling of the USFB is feasible.

V. REFERENCES

- ANA(a). National Water Agency. Hydrographic Divisions of Brazil. Available at: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>. (April, 2020).
- ANA(b). National Water Agency. Situation Room of the National Water Agency. Available at: <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco>. (April, 2020).
- ANA(c). National Water Agency. Law 9433/1997: National Water Resource Policy. Available at: <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alcacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-9433-1997-pnrh/view>. (April, 2020).
- CALEGARIO, A.T. Identification of Hydrologically Homogeneous Regions and Behavior of Long-Term Average Streamflow and Minimum Streamflow Regionalized. Dissertation (Master Degree). Federal University of Viçosa (April, 2014). Available at: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8210/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CBHSF(a). São Francisco River Basin Committee. Main Features of the São Francisco River. Available at: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. (April, 2020).
- EUCYLYDES, H. P., RUBERT, O. A. V., FERREIRA, P. A., SANTOS, R. M. Hydrological Regionalization in the Upper São Francisco Basin upstream of the Três Marias Dam, Minas Gerais. 2001. RBRH - Brazilian Journal of Water Resources Volume 6 n.2 Apr / Jun 2001, 81-105. DOI: 10.21168/rbrh.v6n2.p81-105.
- FARIAS, E. E. V., CURI, W. F., DINIZ, L. S. São Francisco River Integration Project, Eastern Axis: Losses Analysis and Performance Indicators (2017). DOI: 10.1590/2318-0331.0217170006.
- GUIMARÃES, D. P. Irrigated Agriculture and Drought in the São Francisco River Basin. Proceedings of the Regional Symposium on Geoprocessing and Remote Sensing - GEONORDESTE 2014. Aracaju, Brazil. Available at: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1010580/agricultura-irrigada-e-estiagem-na-bacia-do-rio-sao-francisco>.
- HERNÁNDEZ, G.J., ARQUIOLA, P.J., FOEHN, A., ROQUIER, B. RS MINERVE – Technical Manual v2.8. RS MINERVE Group, Switzerland. (2017).
- LERNER, G. L. S. Study of Impacts on Hydroelectric Generation along the São Francisco River due to the Transposition of its Waters using Acquanet Network Flow Mathematical Model. Dissertation (Master Degree) (2006). Available at: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Gerson_Luiz_Soriano_Lerner.pdf.
- MENDIETA, J. D. P. Integrated Hydro/Solar Operation in the Upper São Francisco Basin. Dissertation (Master Degree). State University of Campinas, Faculty of Mechanical Engineering (2018). Available at: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/331524>
- MORIASI, D. N., ARNOLD, J. G., VAN LIEW, M. W., BINGNER, R. L., HARMEL R. D., VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers. ISSN 0001-2. Vol. 50(3): 885-900 (2007).
- SILVA, A. The Waters of the São Francisco River: Disputes, Conflicts and Representations of the Rural World. Doctoral thesis. State University of Campinas, Institute of Philosophy and Human Sciences. 2017. Available at: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322631>.
- SILVÉRIO, N. M., MAMBELI, R. B., FILHO, G. L. T., SANTAFÉ, M. R., SANTOS, I. F. S., VALÉRIO, V. E. M. Use of Floating PV Plants for Coordinated Operation with Hydropower Plants: Case Study of the Hydroelectric Plants of the São Francisco River Basin. Source: Energy conversion and management 2018 v.171 pp. 339-349. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.095>.
- TUCCI, C.E.M. Flow Regionalization. At the: TUCCI, C. E. M., Hydrology. Porto Alegre - Brazil, Publisher of the University of São Paulo (EDUSP), Brazilian Association of Water Resources (ABRH). P. 573-611 (ABRH Collection of Water Resources, 4) (1993).
- VERSIANI, B.R., CARNEIRO, R, M, F. Identification of Homogeneous Regions in the Regional Analysis of Precipitations and Maximum Flows in the São Francisco River Basin (Minas Gerais). 2001. RBRH - Brazilian Journal of Water Resources. Volume 6 n.3 Jul / Sep 2001, 67-80. DOI: 10.21168/rbrh.v6n3.p67-80.

VI. ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported by the Scholarship Don Carlos Antonio López of Paraguay (BECAL - Paraguay), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES - Brazil), the São Paulo Research Foundation (FAPESP – grant #2018-00016-8). We would like to thank the National Water Agency (ANA) and the National Meteorological Institute (INMET) for kindly providing the necessary data to carry out this work.

VII. COPYRIGHT

Authors are solely responsible for the material included in the article.

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA TENSÃO PULSADA RETANGULAR EM AMOSTRAS DE PAR TORCIDO

EVALUATION OF THE EFFECTS OF RECTANGULAR PULSED VOLTAGE ON TWISTED PAIR SAMPLES

VANESSA NEVES HÖPNER^{1,2}; VOLMIR EUGÊNIO WILHELM²; CEZAR ARMANDO CUNHA VARNIER³

1 – Instituto Federal Catarinense; 2 – Universidade Federal do Paraná; 3 – WEG Equipamentos Elétricos
vanessa.hopner@ifc.edu.br; volmirw@gmail.com; cezarvarnier@gmail.com

Resumo – Conversores estáticos com técnica de modulação por largura de pulsos de tensão utilizados na alimentação de motores elétricos são uma solução muito eficiente para controle da rotação destes motores mas podem danificar o sistema de isolamento, se estes não estiverem preparados para absorver os efeitos dos pulsos de tensão em frequências elevadas geradas pelo conversor. Foi projetada uma fonte de tensão retangular pulsada com amplitude, largura, frequência dos pulsos e tempo de subida do pulso de tensões ajustáveis para executar ensaios de degradação do isolamento de fios esmaltados. Neste trabalho, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos testes de degradação acelerada para avaliar os efeitos da frequência, da largura e do tempo da borda de subida (rise time) dos pulsos de tensão no verniz isolante dos fios circulares utilizados em motores elétricos.

Palavras-chave: Conversor de frequência. Isolamento do fio circular. Ensaios de degradação.

Abstract – Static converters with voltage pulse width modulation technique used in the supply of electric motors are a very efficient solution for controlling the rotation of these motors but can damage the insulation system, if they are not prepared to absorb the effects of voltage pulses at high frequencies generated by the converter. A pulsed rectangular voltage source with amplitude, width, pulse frequency and pulse rise time of adjustable voltages was designed to perform degradation tests on the enameled wire insulation. In this work, the results obtained in the accelerated degradation tests are presented and discussed to evaluate the effects of the frequency, width and time of the rise time (voltage time) of the voltage pulses in the insulating varnish of the circular wires used in electric motors.

Keywords: Converter fed motors. Circular wire insulation. Degradation tests.

I. INTRODUÇÃO

Motores elétricos estão presentes abrindo e fechando portões, movimentando máquinas lavadoras e secadoras de roupas, ventilando o ambiente, auxiliando nas atividades domésticas desde aspirar o pó até cortar a grama. O uso de motores elétricos permitiu também um grande avanço industrial, muitas vezes, substituindo homens em atividades de extremo risco e, com um controle eficiente, garantindo a qualidade do produto final.

A busca por maior eficiência, tanto no controle do acionamento como no consumo de energia, têm levado à necessidade de aplicação de conversores estáticos para acionar os motores elétricos. De acordo com Guastavino et al. (2016) a adoção massiva de conversores eletrônicos para

alimentar motores de indução, gera problemas críticos durante a operação normal. Um dos problemas mais investigados é a falha prematura inesperada do isolamento do enrolamento do estator. Quando os motores são alimentados por conversores eletrônicos, o sistema de isolamento do estator pode estar sujeito a sobretensões devido a fenômenos de ressonância e reflexão.

Nas últimas décadas, a influência das tensões Pulse Width Modulated (PWM), criando sequências de pulsos de tensão quase retangulares com declives muito acentuados e altas frequências de chaveamento, gerados por modernos conversores eletrônicos, é um tópico que tem recebido atenção considerável. As formas de onda de tensão PWM, com harmônicos de baixa e alta frequência, causam perdas dielétricas, enquanto as sobretensões devido às incompatibilidades de ressonância ou impedância e distribuição de potencial desigual podem ampliar o estresse elétrico no isolamento dos motores elétricos (CAVALLINI; FABIANI; MONTANARI, 2010).

Segundo Bonnett (1996) e Weijun (1997), os processos de chaveamento rápido exercem uma classe diferente de estresse sobre os materiais isolantes dielétricos do que as excitações senoidais padrão. Tais tensões resultam em um aumento na atividade dinâmica do campo elétrico de trabalho, que por sua vez leva ao aumento da probabilidade de descargas parciais (DP). A norma IEC 60270 (2000), define descargas parciais como: “São descargas elétricas localizadas que ligam apenas parcialmente o isolante entre dois condutores e que pode ou não ocorrer ao lado de um condutor. Descargas parciais geralmente são uma consequência de um esforço concentrado e localizado do campo elétrico no dielétrico ou na superfície do mesmo”. As descargas parciais aceleram o processo de degradação do meio isolante, causando efeitos semelhantes à erosão.

De acordo com Mello (1999) a evolução dos motores assíncronos se deve ao desenvolvimento dos materiais isolantes. Tanto os filmes isolantes utilizados entre bobinas, fundo e/ou no fechamento das ranhuras, como o esmalte aplicado nos fios avançaram muito nos últimos 100 anos. Os vernizes utilizados para esmaltar os fios atualmente são puramente sintéticos, com os quais obtém-se uma camada de isolamento com espessura inferior às camadas duplas de algodão utilizadas até meados de 1900, e ainda assim obtendo-se uma rigidez dielétrica superior, além de suportarem temperaturas mais elevadas.

Neste trabalho serão apresentados os resultados da avaliação dos efeitos da frequência, da largura e do tempo da borda de subida (*rise time*) dos pulsos de tensão no verniz isolante dos fios circulares utilizados em motores elétricos. Para isto, foi desenvolvida uma fonte de tensão capaz de aplicar pulsos retangulares de tensão elevada, controlar a frequência, o tempo de variação da tensão desde 10% a 90% (*rise time*) e o tempo de tensão aplicada em cada pulso (*duty cycle*).

II. METODOLOGIA

Foram executados experimentos utilizando a fonte de tensão pulsada retangular desenvolvida. Devido as limitações de manuseio do protótipo e dos equipamentos utilizados, todos os ensaios foram executados em temperatura ambiente (temperatura não controlada).

O primeiro ensaio realizado verifica as diferenças de degradação das amostras quando submetidas a uma tensão senoidal e a uma tensão retangular pulsada.

A degradação das amostras acontece através da ocorrência de descargas parciais até que a tensão aplicada consiga ionizar o meio isolante e inicie a condução de uma corrente elétrica elevada (corrente de convecção). A tensão aplicada neste ensaio não pode ultrapassar a tensão de ruptura do dielétrico das amostras, para que a falha não ocorra instantaneamente. A tensão aplicada também não deve ser inferior a tensão de início das descargas parciais, para que estas descargas sejam induzidas causando a degradação do meio isolante. A tensão de início das descargas parciais depende da geometria das amostras, e pode ser medida com equipamento específico.

Devido à ausência de normas que definam este tipo de ensaio, os fabricantes de fios e/ou de motores utilizam procedimentos internos próprios (temperatura, nível de tensão, frequência e *rise time*), para avaliar a qualidade da isolação dos fios esmaltados.

Posteriormente, foi analisada a influência da largura dos pulsos da tensão pulsada na degradação das amostras. Na sequência foi verificada a influência da frequência dos pulsos de tensão. Finalmente a diferença entre as amostras MW 16-C e MW 35-C quando submetidas a mesma frequência e amplitude de tensão retangular pulsada.

As amostras utilizadas nos ensaios são do tipo “par torcido”, definido nas normas NEMA MW (2018) e IEC 60851-5 (2011). O par torcido é preparado com dois segmentos retilíneos do fio esmaltado à ser avaliado, uma das extremidades dos fios é fixada em um gancho giratório e a outra em uma carga. Este par torcido garante boa área de contato, simulando fios adjacentes (face a face), que seria o caso mais crítico, que pode ocorrer no interior da ranhura de um motor com bobinagem randômica. Um corpo de prova do tipo par torcido pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Par torcido.



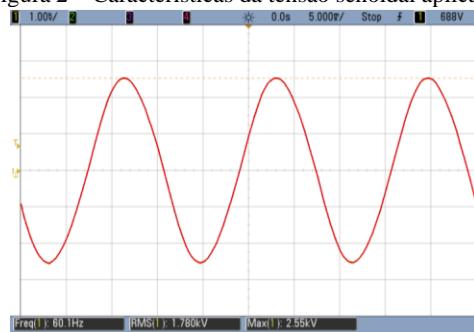
Fonte: Autores, 2019.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 – Tensão Senoidal versus Tensão Retangular

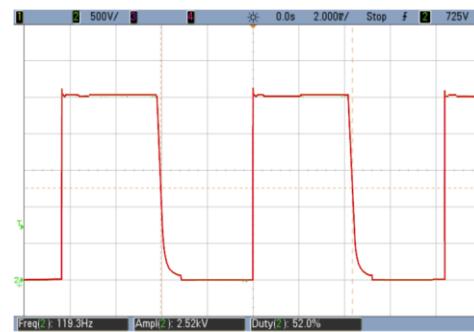
Amostras do tipo par torcido, construídas com o fio MW 16-C, foram submetidas a tensão senoidal de 1,77 kVef, frequência igual a 60 Hz. Amostras idênticas foram submetidas a pulsos de tensão retangular. O nível de tensão e a frequência foram ajustados para causar um efeito semelhante à tensão senoidal utilizada anteriormente. A tensão senoidal aplicada, apresentada na Figura 2, têm como características tensão máxima de 2,5 kVmáx e 120 picos de tensão por segundo (positivo e negativo alternadamente). Dessa forma de pulso de tensão retangular para comparação dos efeitos foi ajustado em 2,5 kVCC de amplitude e frequência de 120 Hz (120 pulsos por segundo), conforme destacado na Figura 3.

Figura 2 – Características da tensão senoidal aplicada



Fonte: Autores, 2019.

Figura 3 – Características da tensão pulsada aplicada



Fonte: Autores, 2019.

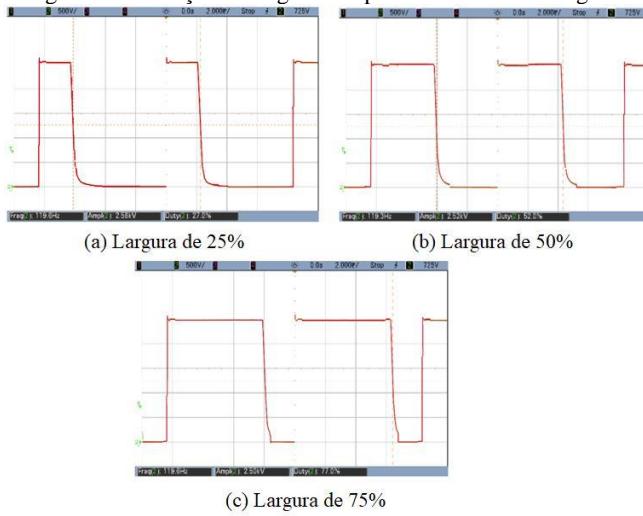
O tempo de duração (em minutos) de 10 amostras foi registrado e verificou-se que, mantendo o mesmo nível de tensão e a mesma frequência de pulsos, a degradação do dielétrico ocorre com a mesma intensidade (variação menor do que 3%), tanto para a tensão senoidal como para a tensão retangular. Resultou para a tensão senoidal uma média de 899 minutos com desvio padrão de 47 minutos e para a tensão pulsada, média de 877 minutos com desvio padrão de 47 minutos até a ruptura do dielétrico. Sabe-se que a variação da tensão na forma de onda senoidal é mais lenta do que da forma de onda pulsada, conclui-se portanto que a velocidade de variação da tensão aplicada nas amostras do tipo par torcido não influenciam na degradação do dielétrico. Por este motivo este fator não será levado em conta nas análises seguintes.

3.2 – Largura do Pulso de Tensão na Degradação do Dielétrico do Par Torcido

Amostras do tipo par torcido, construídas com o fio MW 16-C, foram submetidas a tensão retangular com amplitude de 2,5 kV CC, frequência de 2,4 kHz, à

temperatura ambiente, em 3 condições diferentes: pulso de tensão na amostra com largura de 25%, 50% e 75%, conforme destacado na Figura 4.

Figura 4 – Variação da largura dos pulsos de tensão retangular.



Fonte: Autores, 2019.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de degradação do dielétrico com tensão retangular em diferentes condições de largura de pulso.

Amostra	t (minutos)		
	25%	50%	75%
1	64	50	65
2	69	59	67
3	72	63	69
4	74	68	71
5	74	70	72
Média	71	62	69

Os tempos de vida das amostras nos 3 ensaios com as diferentes larguras de pulso estão registrados na Tabela 1. Lembrando que não houve controle da temperatura, pode-se observar que, excluindo a primeira amostra dos pulsos com largura de 50% (queima precoce), primeiras amostras queimaram após aproximadamente 60 minutos de ensaio e as últimas logo após 70 minutos. Portanto, pode-se concluir que a largura de pulso não apresentou variações significativas nos tempos de vida das amostras.

3.3 – Frequência dos Pulsos de Tensão na Degradação do Dielétrico do Par Torcido

Amostras do tipo par torcido, construídas com o fio MW 16-C, foram submetidas a tensão pulsada com amplitude de 2500 V_{CC}, variando a frequências de 120 a 2400 Hz, à temperatura ambiente.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de vida com tensão pulsada para diferentes frequências.

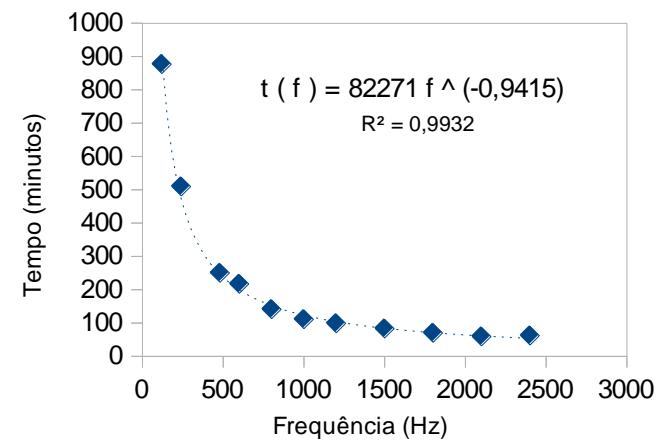
Amostra	Frequência (Hz)	Tempo (minutos)
1	120	877
2	240	509,6
3	480	250,2
4	600	217,2
5	800	141,2
6	1000	111,2
7	1200	98,8
8	1500	83,2

9	1800	70
10	2100	59,4
11	2400	62

Os valores médios dos tempos de vida para cada frequência testada podem ser observados na Tabela 2.

Os resultados apresentados na Tabela 2 demonstram claramente a influência da frequência na degradação do isolamento do dielétrico das amostras. Esses dados podem ser aproximados por uma curva com 99,32% de ajuste em relação aos pontos obtidos, conforme pode ser observado na Figura 5. Portanto, pode-se concluir que a curva encontrada pode ser utilizada para estimar o tempo de vida dessas amostras com excelente confiabilidade.

Figura 5 – Curva frequência (hertz) versus Tempo de vida (minutos)



Fonte: Autores, 2020.

3.4 – Comparação entre os fios MW 16-C e MW 35-C com nanopartículas inorgânicas

Amostras do tipo par torcido, construídas com os fios MW 16-C e MW 35-C, foram submetidas a tensão pulsada retangular com amplitude de 2,5kV_{CC}, frequência de 1,5 kHz, à temperatura ambiente. O isolamento do fio MW 16-C suportou essas condições durante pouco mais de 80 minutos. Nas mesmas condições, o isolamento de nenhuma das amostras do fio MW 35-C havia rompido após 2400 minutos (40 horas) de ensaio, comprovando a eficiência deste fio com adição de nanopartículas inorgânicas na camada de esmalte externa quando submetido a tensões pulsadas. Entretanto, o ensaio de verificação da tensão de ruptura do dielétrico demonstrou que a tensão de ruptura do dielétrico do fio MW 35-C é inferior à do fio MW 16-C. Isso explica-se pelo fato de a adição de nanopartículas inorgânicas ter a função de deixar essa camada mais condutiva, portanto a tensão necessária para romper esse dielétrico será menor.

A camada com nanopartículas inorgânicas, por ficar mais condutiva, distribui o campo elétrico na superfície do fio diminuindo a concentração deste campo que pode ocorrer em imperfeições deste isolamento, diminuindo a degradação causada pelos pulsos de tensão.

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Quanto aos resultados do ensaio de medição da tensão de ruptura do dielétrico, a degradação ocorrida tanto com os picos da tensão senoidal, quanto com os picos da tensão

retangular, foi a mesma. As duas condições, aplicaram um mesmo número de pulsos quando considerado o mesmo intervalo de tempo (tensão senoidal com frequência de 60 Hz sendo considerado um pulso positivo e um pulso negativo a cada ciclo, e a tensão retangular com frequência de 120 Hz), e resistiram da mesma maneira ao ensaio. Pode-se considerar três diferenças importantes nesse ensaio:

- a variação da tensão retangular é brusca (pequeno *rise time*), atingindo valor máximo em alguns nanosegundos após a aplicação da tensão, enquanto na tensão senoidal a variação é mais suave, atingindo o valor máximo após cerca de 4 ms (quatro milissegundos);
- o nível da tensão retangular permanece em seu valor máximo durante aproximadamente 4 ms (quatro milissegundos), enquanto na tensão senoidal atinge o valor máximo apenas em um instante, diminuindo suavemente logo em seguida;
- a tensão retangular aplicou apenas pulsos positivos, enquanto a tensão senoidal aplicou pulsos positivos e negativos alternadamente.

Apesar de a tensão retangular ter uma variação brusca da tensão, essa diferença não teve influência na degradação das amostras testadas, confirmando a observação feita pelo autor Weijun Yin (1997) e os resultados apresentados na subseção 3.1.

A largura do pulso da tensão retangular que aparentemente não teve efeitos quanto a degradação das amostras na degradação analisada com tensão retangular e com tensão senoidal, confirmou-se sem efeitos quando foi comparado com frequência de 2,4 kHz, larguras do pulso de tensão de 25%, 50% e 75%, apresentados na subseção 3.2.

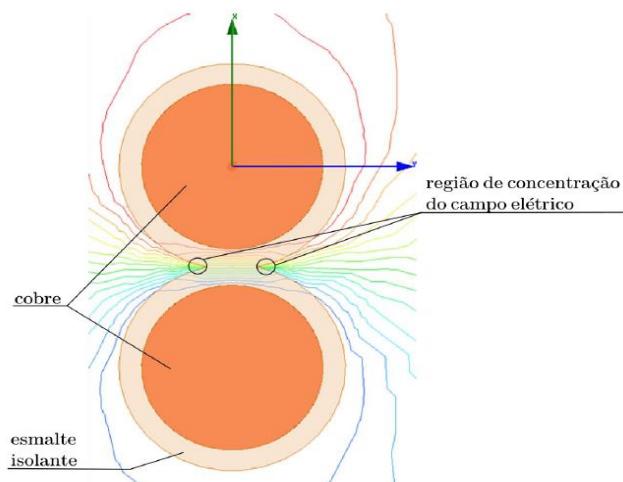
A aplicação de pulsos retangulares unipolares ou bipolares foi avaliada no trabalho de NEMA (2001), onde concluiu-se que os pulsos bipolares são mais agressivos, e chegaram a associar à variação brusca da tensão desde o valor máximo positivo para o valor máximo negativo quase instantaneamente. Entretanto algumas amostras submetidas aos pulsos de tensão bipolar falharam em um tempo superior à algumas amostras submetidas aos pulsos de tensão unipolares, o que coloca em dúvida a conclusão de que os pulsos de tensão bipolares são mais agressivos. Além disso os ensaios foram feitos com tensão de 2 kVcc e 20 kHz, levando à falhas em pouco mais de 10 minutos, o que pode caracterizar uma degradação muito acelerada podendo causar erros na interpretação dos resultados. Levando-se em conta os resultados aqui obtidos, comparando os pulsos de tensão senoidal (positivo e negativo, alternadamente) com os pulsos de tensão retangular (somente positivos), não é possível observar diferenças causadas pelos pulsos negativos da tensão senoidal.

Sabe-se que o *rise time* têm efeitos que agride gravemente as bobinas dos motores elétricos, porém isso ocorre devido a indutância associada às bobinas dos motores. Quanto menor o *rise time* e maior a indutância maiores serão os picos de tensão gerado, e estes picos de tensão podem dar início às descargas parciais, mesmo nos motores alimentados com baixa tensão. Este efeito é agravado quando utilizam-se cabos de longo comprimento entre os conversores e o motor, podendo chegar até duas vezes a tensão da fonte para cabos com quinze metros de comprimento (WEIJUN *et al.*, 1995). Esse efeito não afeta a degradação das amostras porque estas não apresentam características indutivas.

A curva de tempo de falha das amostras por influência da frequência foi feita apenas para o fio MW 16-C. O fio MW 35-C com nanocompostos inorgânicos, desenvolvido para ter maior resistência aos efeitos causados pelos pulsos de tensão em alta frequência, comprovou sua eficiência, conforme descrito na subseção 3.4. Sabe-se, portanto, que para cada tipo de fio, e para cada nível de tensão, haverá uma curva característica.

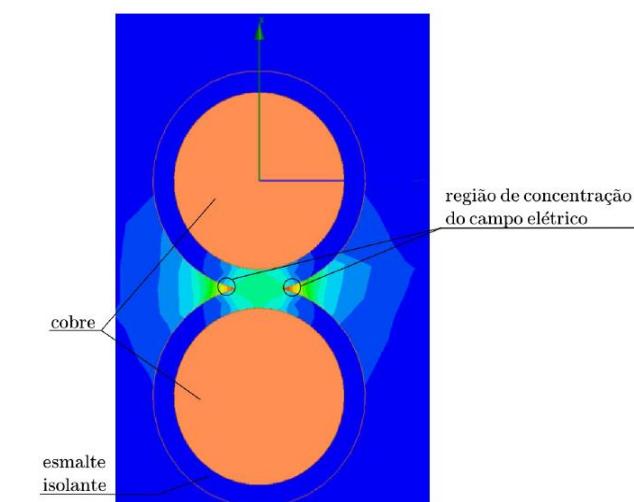
Nas inspeções visuais das amostras observou-se que nenhuma das falhas ocorreu na região de contato entre os fios. Todas as falhas ocorreram em regiões adjacentes à região de contato. Através de simulações foi possível compreender que este efeito ocorre devido a concentração do campo elétrico nessa região (aproximadamente duas vezes maior do que o campo elétrico na região de contato do esmalte dos fios). Foram executadas simulações com valores didáticos que não afetam a compreensão do fenômeno visualizado nos resultados gráficos. Conforme pode-se observar na Figura 6 as linhas de potencial elétrico se concentram na região adjacente ao contato entre os esmaltes dos fios, enquanto no próprio esmalte e no ar as linhas se dispersam. Portanto, o campo elétrico na região adjacente ao contato dos esmaltes é mais intenso, conforme observa-se na Figura 7.

Figura 6 – Linhas de potencial elétrico entre dois fios esmaltados.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 7 – Linhas de potencial elétrico entre dois fios esmaltados.



Fonte: Autores, 2019.

V. CONCLUSÃO

A utilização de conversores para acionar e controlar motores elétricos é cada vez mais rotineira, buscando acionamentos mais precisos e com melhor rendimento. Contudo, estes dispositivos geram picos elevados de tensão nos terminais do motor ocasionando descargas parciais entre condutores, e estas descargas causam desgaste no esmalte isolante dos fios, semelhante a um processo de erosão. Esta degradação se agrava a cada descarga parcial ocorrida, até que a ausência do esmalte isolante permita a condução de corrente elétrica entre os fios. Neste trabalho, buscou-se maneiras de verificar estes efeitos, sendo que a topologia da fonte de tensão retangular pulsada desenvolvida buscou aplicar tensão nos terminais das amostras do tipo par torcido, em seguida curto-circuitar os terminais da amostra, e assim sucessivamente. Com isto, foi possível a avaliação dos diversos efeitos que supostamente degradam o isolamento dos motores.

De acordo com os resultados obtidos, destaca que o *rise time* não influencia na degradação do isolamento das amostras do tipo par torcido, devido ao fato de essas amostras não apresentarem características indutivas. Além disso, a largura do pulso de tensão aplicado também não influencia na degradação do isolamento da amostra.

A curva de tempo de vida por frequência segue o modelo da Potência Inversa e pode ser linearizada para uma determinada faixa de frequências quando for aplicada a escala logarítmica, com um bom ajuste.

A técnica de incluir nanopartículas de material inorgânico na camada externa do esmalte utilizado no fio MW 35-C comprovou-se muito eficiente.

Não foi possível atingir frequências mais elevadas (acima de 5kHz) devido a alta capacidade característica dos IGBT's utilizados. Porém, os resultados obtidos foram bastante promissores e servirão como referência para incentivar investimentos na continuidade destas pesquisas buscando aprofundar o estudo dos efeitos da tensão pulsada no isolamento dos fios esmaltados, desenvolver novas tecnologias de esmaltes utilizados nos fios e na impregnação de motores e, testar a qualidade de fios esmaltados disponíveis atualmente no mercado.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American National Standard for Magnet Wire. ANSI/NEMA MW 1000: Magnet Wire, 2018.

Bonnett, Austin H. Analysis of the impact of pulse-width modulated inverter voltage waveforms on AC induction motors. **IEEE Transactions on Industry Applications**. v. 32, Março/Abril 1996, p. 386–392.

Cavallini, Andrea; Fabiani, Davide; Montanari, Gian Carlo. Power electronics and electrical insulation systems - Part 1: Phenomenology overview. **IEEE Electrical Insulation Magazine**. v. 26, Maio/Junho 2010, p. 7–15.

Guastavino, Francesco; Cordano, D; Torello, Eugenia; Della Giovanna, L. Aging tests on type I insulating systems applying pulsed waveform. **IEEE International Conference on Dielectrics**. Montpellier: 2016.

International Electrotechnical Commission. IEC 60851: Winding wires - Test methods - Part 5: Electrical properties, 2011.

International Electrotechnical Commission, IEC 60270: High-voltage test techniques - Partial Discharge Measurement, 2000.

Mello, Hugo G. G. Motores de indução alimentados por inversores de freqüência, **WEG em Revista**. v. I, n. 1, Nov./Dez. 1999, p. 12-15, Nov/Dez 1999.

NEMA Standards Publication. Application Guide For AC Adjustable Speed Drive Systems. Rosslyn: 2001.

Weijun, Yin; Bultemeier, K.; Barta, D. J.; Floryan, D. Critical Factors for Early Failure of Magnet Wires in Inverter-fed Motor. **Proceedings of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena**. Virginia Beach, 1995.

Weijun, Yin. Failure mechanism of winding insulations in inverter-fed motors. **IEEE Electrical Insulation Magazine**. v. 13, Nov./Dez. 1997, p. 18–23.

VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido do Instituto Federa de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense (IFC) e parceria técnico-científica firmada com empresa do setor eletro-eletrônico.

VIII. COPYRIGHT

Direitos autorais: os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

MODELO CONCEITUAL DE PREVISÃO DE VAZÃO PARA ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO EM SÃO PAULO

CONCEPTUAL MODEL OF INFLOW FORECASTING FOR MEASUREMENT STATIONS AT SAO PAULO

THAIS ROCHA¹; ANDRÉ F. ANGELIS¹; JOÃO E. G. LOPES²; IEDA G. HIDALGO¹

1 – UNIVERSITY OF CAMPINAS (UNICAMP); 2 – UNIVERSITY OF SAO PAULO (USP)

sphaisrocha@gmail.com; andre@ft.unicamp.br; jelopes1@gmail.com; ihidalgo@unicamp.br

Resumo – O planejamento da operação das usinas hidrelétricas depende da previsão de vazões aos reservatórios. Neste artigo, analisamos o modelo conceitual “Soil Moisture Model Accounting Procedure” (SMAP). O objetivo é avaliar seu desempenho, a fim de melhorar a precisão das vazões previstas para suportar os tomadores de decisão no processo de geração de energia. Aplicamos o SMAP para um conjunto de estações de medição selecionadas e avaliamos sua saída usando hidrogramas e quatro indicadores de desempenho. As etapas para avaliar o SMAP consistem na coleta de dados, calibração, ajuste, validação, aplicação e análise do modelo. Concluímos que o SMAP apresenta um bom desempenho. Portanto, sob as condições observadas, o SMAP pode contribuir para aumentar a eficiência das usinas hidrelétricas e reduzir os custos de complementação térmica.

Palavras-chave: *Modelo hidrológico. Sistema hidrelétrico. Indicadores de desempenho. Reservatórios.*

Abstract - The operation planning of hydropower plants depends on the water inflow forecasting into the reservoirs. In this paper we analyze the conceptual model “Soil Moisture Model Accounting Procedure” (SMAP). The objective is to evaluate its performance in order to improve the accuracy of the predicted water inflows to support the decision-makers in the power generation process. We applied SMAP to a set of selected measurement stations and assessed its output by using hydrographs and four performance indicators. The steps to evaluate SMAP consist of data collection, calibration, adjustment, validation, application, and analysis of the model. We have concluded that SMAP presents a good performance. Therefore, under the observed conditions, SMAP can contribute to increase the hydropower plants efficiency and to reduce the thermal complementation costs.

Keywords: *Hydrological model. Hydropower system. Performance indicators. Reservoirs.*

I. INTRODUCTION

The hydropower system planning should assure an economic and safe operation policy, managing the water stored in the reservoirs. The main operation decision is to determine the amount of water discharged by the turbines or spillways. Since these values depend on the future resource availability, the accuracy of this information is very important. However, water inflow forecasting is a complex

task that has led to the development of several conceptual, empirical, and hybrid prediction models.

The conceptual models consider the physical processes of the water system in their functions, taking into account the rainfall-runoff relationship. In these models, the predicted rainfall is used as input for the calculation of the future runoff. Some physical phenomena, such as infiltration, evapotranspiration, and groundwater flow are included in those calculations, subject to different precision levels. The conceptual models can be divided into two subclasses: concentrated and distributed. The former considers the basin as a single system, whereas the latter divides the basin in sub-basins. MGB IPH is an example of the distributed subclass (ANEEL, 2020). Soil Moisture Model Accounting Procedure (SMAP) is the concentrated conceptual model that our research focuses on (ONS, 2019a; LAUDANNA *et al.* 2005; CASTANHARO *et al.* 2007).

The empirical ones, in turn, use mathematical techniques to set up a relationship between the input and output data without necessarily considering the water physical processes. Usually, the input data are the observed water inflows, and both the observed and predicted rainfalls. The output data are the predicted water inflows. Stochastic and statistic models are empirical. Inside the empirical set, we highlight PREVIVAZ which is a linear stochastic model employed to predict inflows for most Brazilian hydropower plants. Furthermore, models based on techniques of neural networks are also empirical. They are used in the water inflow forecasting, as shown in Ballini, Soares Filho, Andrade (2003), Batista (2009), Sousa, Sousa (2010), and Gomes, Montenegro, Valença (2010).

The hybrid models are those that combine the characteristics of conceptual and empirical ones, i.e., they employ knowledge about water physical processes and mathematical tools. This approach is intended to take advantage of the best features of each model type joined in a single system. An example of this sort of model is Fuzzy Recurrent Model (ROCHA; MOREIRA, 2007).

As we have pointed, to predict water inflows is a complex task and, despite the large number of available models, the general accuracy is not satisfactory yet (ANDRADE *et al.* 2012). For instance, there are reports of average errors to 26% in the inflow forecasting (COLONESE; XAVIER; ARAUJO, 2015). The magnitude of the errors is so high that they may severely disturb

operation plans, leading to inefficient management of water resources.

In this research, we have studied the potential of SMAP model to predict daily water inflows. SMAP has been chosen due its conceptual features and the growing interest in it. It has already been applied to Grande, Paranapanema, and Paranaíba river basins (LAUDANNA *et al.* 2005). The highlight of this paper is that we analyze the behavior of SMAP using an important Brazilian basin as background. We pointed out that the efficiency of any model is limited by a series of factors, such as internal assumptions of the model, quality of the available data, and size of the time horizon. We applied SMAP using the database of the Tietê River basin to assess its absolute efficiency, showing an alternative option for decision-makers of the hydropower operation. We have used hydrographs and four performance indicators to evaluate the model.

II. SOIL MOISTURE MODEL ACCOUNTING PROCEDURE (SMAP)

SMAP is a deterministic conceptual model of the type rainfall-runoff transformation. It uses the water cycle concept (ONS, 2019).

SMAP uses parameters and input variables. The parameters are related to the physical conditions. They are relatively stable, but they need to be estimated or calculated, calibrated and validated before their use. The input variables, in turn, refer to the environmental conditions. They are linked to faster changing values that can be measured or estimated, but do not undergo to the calibration and validation processes (ROCHA *et al.* 2016).

Table I presents all parameters and input/output variables of SMAP model. For each one, the symbol, description, and unit are shown. SMAP uses a set of six parameters. Three of them are estimated parameters based on physical processes related to vegetation type, soil type, and flow rate in the studied area: initial abstraction (mm), field capacity (%), and recession constant of basic flow (day). The remaining three are calculated parameters based on historical series of rainfall and water inflow: capacity of soil saturation (mm), recession constant of surface flow (day), and groundwater recharge (%). The model also needs seven input variables: average rainfall in the basin (mm), evaporation rate (mm), drainage area (km^2), initial humidity, initial basic flow (m^3/s), initial superficial flow (m^3/s), and observed water inflow in the day (m^3/s). The output is the predicted water inflow in the day (m^3/s). Once all parameters and input variables are loaded, the model is carried out to calculate the output variable.

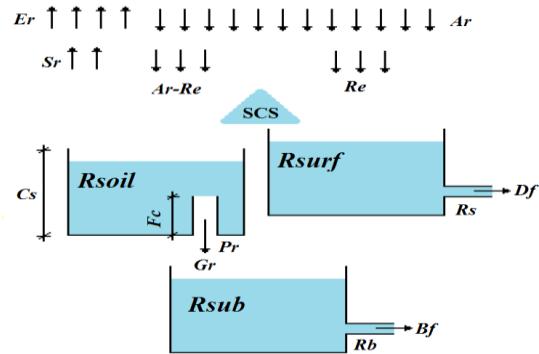
There are some versions of SMAP model. Here, we focus on the daily version that consists of the three mathematical representations of the water reservoirs that are considered inside the calculations, as shown in Figure 1. The first of the reservoirs is the soil reservoir (R_{soil}) that corresponds to the aerated zone; the second is the surface reservoir (R_{surf}) associated with the basin runoff; and the last is the underground or subterranean reservoir (R_{sub}) that simulates the saturated zone. SMAP also uses five transfer functions to calculate the amount of water in the reservoirs for each day. They are surface runoff (S_r), real evapotranspiration (Re), groundwater recharge (Gr), direct flow (D_f), and basic flow (B_f). In Figure 1, SCS means Soil

Conservation Service. Further details about the internal features of SMAP can be found at ONS (2019).

Table I – Parameters and input/output variables of SMAP model.

Symbol	Description	Unit
A_i	initial abstraction (estimated)	mm
F_c	field capacity (estimated)	%
R_b	recession constant of basic flow (estimated)	day
C_s	capacity of soil saturation (calculated)	mm
R_s	recession constant of surface flow (calculated)	day
P_r	groundwater recharge (calculated)	%
A_r	average rainfall in the basin (input)	mm
E_r	evaporation rate (input)	mm
D_a	drainage area (input)	km^2
I_h	initial humidity (input)	-
I_b	initial basic flow (input)	m^3/s
I_s	initial superficial flow (input)	m^3/s
W_i^{obs}	observed water inflow in the day i (input)	m^3/s
W_i^{pred}	predicted water inflow in the day i (output)	m^3/s

Figure 1 - Water mathematical reservoirs of SMAP model.



Source: ONS, 2019a (adapted).

III. METHODOLOGY

3.1 – Steps and Procedures

Our goal was to study the potential of SMAP and we carried out this task applying the model to selected points in a chosen basin. The process has three major steps, each one divided in a certain number of procedures. In the overall, first, we got a database with historical data series of rainfall and runoff of the basin. The input parameters were estimated or calculated, calibrated, adjusted, and validated. The input variables were estimated or recovered from the database. The SMAP was feed with these values and ran. Then, we used a set of quantitative statistics and a visual analysis of hydrographs to assess the accuracy of SMAP.

For each step, a description of the procedures is presented in Table II. In procedures 2.1 and 2.3, the Solver tool of *Microsoft Excel* was used, employing the Generalized Reduced Gradient (GRG2) for optimizing of nonlinear problems (EXCEL, 2020). According to Moriasi *et al.* (2007) a good calibration procedure uses multiple quantitative statistics and, then, we used the quantitative statistics described in the next sub-section.

In procedure 2.2, the estimated and calculated parameters of the model can be manually re-calibrated in order to get better precision. During this process, each quantitative statistic should be tracked for balancing the

model ability and potential errors in the observed data (BOYLE; GUPTA; SOROOSHIAN, 2000).

Table II – Description of the procedures used to apply SMAP model.

Procedure	Description
1.1	<i>Selection of Study Scope</i> : choose the basin and the measurement stations of interest (hydropower plants may be included as stations).
1.2	<i>Definition of the Past Events Set</i> : choose the periods for the model calibration, adjustment, and validation (the chosen period should include dry and wet periods).
1.3	<i>Rainfall and Water Inflow Data Collection</i> : gather and organize data series about observed (past) rainfall and water inflow in the selected stations.
1.4	<i>Correction of Water Inflow Data Series</i> : look for constant values along consecutive days, absent values, or wrong values and correct the found inconsistencies by using a linear interpolation or a more suitable mathematical technique.
2.1	<i>Parameters Automatic Calibration</i> : calibrate the calculated parameters of SMAP using proper tools in automatic mode.
2.2	<i>Parameters Manual Calibration</i> : manually re-calibrate the estimated and calculated parameters of SMAP in order to get better precision.
2.3	<i>Stations Weight Definition</i> : adjust the weight of the measurement stations to indicate the importance of each one in the basin context.
2.4	<i>Validation of the Model</i> : validate the model output applying SMAP to a period not used for the calibration.
3.1	<i>SMAP Operation</i> : use the model with previously found parameters and input variables to predict the water inflows into the basin.
3.2	<i>Post-Operation Analysis</i> : assess the output of SMAP using a set of quantitative statistics and an expert-based visual exam of the hydrographs.

3.2 – Quantitative Statistics

A set of quantitative statistics was used to assess the output of SMAP. We adopted three performance indicators recommended by Moriasi *et al.* (2007): Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), Percent bias (PBIAS), and Ratio of the root mean square error to the standard deviation (RSR).

Trying to reach a better understanding of the SMAP performance, we have added an extra indicator to the analyses: Percentage relative deviation (PRD).

NSE, Eq. (1), is a normalized statistic that determines the relative magnitude of the residual variance compared to the observed data variance. It ranges from $-\infty$ to 1. The closer to 1, the more accurate is the model.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs} - W_i^{pred})^2}{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs} - W^{obs})^2} \quad (1)$$

where: W_i^{obs} = observed water inflow in the time period i [m^3/s]; W^{obs} = observed average water inflow [m^3/s]; W_i^{pred} = predicted water inflow for the time period i [m^3/s]; i = time period [day]; n = number of periods [days].

PBIAS, Eq. (2), measures the average tendency of the predicted values to be larger or smaller than the observed ones. The optimal value of PBIAS is 0. Positive values indicate overestimation bias, whereas negative values indicate model underestimation bias (MORIASI *et al.* 2007).

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs} - W_i^{pred}) * 100}{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs})} \quad (2)$$

RSR, Eq. (3), is calculated as the ratio of the root mean square error (RMSE) and standard deviation of measured data (MORIASI *et al.* 2007). RSR varies from the optimal value of 0 to a large positive value. The lower RSR, the better is the model performance.

$$RSR = \frac{RMSE}{SDEV} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs} - W_i^{pred})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i^{obs} - W^{obs})^2}} \quad (3)$$

Performance ratings of NSE, PBIAS, and RSR for model evaluation are presented in Moriasi *et al.* (2007). Table III shows the ratings for the three quantitative statistics; where: V.g. = very good; Go. = good; Sat. = satisfactory; Uns. = unsatisfactory).

Table III – Performance ratings (MORIASI *et al.* 2007).

Rate	NSE	PBIAS (%)	RSR
V.g.	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$
Go.	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$0.50 < RSR \leq 0.60$
Sat.	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$	$0.60 < RSR \leq 0.70$
Uns.	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$RSR > 0.70$

PRD, Eq. (4), shows the average difference between the value of the predicted water inflows and the value of the observed water inflows. The value is expressed as a percentage. The closer to 0, the better the results.

$$PRD = \frac{1}{n} \left[\frac{\sum_{i=1}^n |W_i^{obs} - W_i^{pred}|}{W_i^{obs}} \right] * 100 \quad (4)$$

The quantitative statistics provided a numerical analysis of the results, but they were considered insufficient for the overall process. Thus, we included in our toolkit a graphical technique named hydrograph to improve the analyses, once it provides a visual comparison of the predicted and observed data and a first overview of the model performance. A hydrograph is a time series plot of predicted and measured flow. It can show differences in timing and magnitude of peak flows and the shape of recession curves. Hydrographs can also show the model tendency to underestimate or overestimate flow values on the whole horizon.

IV. CASE STUDIES AND RESULTS

In this section, we describe the three steps of the methodology that were carried out. Each procedure of Table II is described in the following.

5.1 – Procedure 1.1: Selection of Study Scope

We selected three measurement stations of rainfall and river flow located at the Tietê River basin, in São Paulo State, Brazil. They are called Invernada Recreio (INR), Gavião Peixoto (GAP), and Fazenda São Benedito (FSB). INR station covers an area of 1,800 km² and is located in Bocaina city. GAP station is established in Gavião Peixoto city and extends an area of 2,430 km². FSB station covers an area of 2,710 km² and is located in Ibitinga city. The three

selected stations are managed by AES Tietê company. They are chosen due to their importance to São Paulo state.

5.2 – Procedure 1.2: Definition of the Past Events Set

Three study periods were defined for the model calibration, adjustment, validation, and application. The period from 12/2003 to 08/2005 was used for the model calibration and adjustment because it contains dry and wet periods. The period from 12/2005 to 08/2007 was employed for the validation phase. The model was applied from 2009 on. The 2009 data were used because they are available at the beginning of this work, have a low error rate and require low pre-processing, they are also representative of the regions hydrology and have been used in other studies.

5.3 – Procedure 1.3: Rainfall and Water Inflow Data Collection

The rainfall and water inflow data series were obtained from SISPREV (HIDALGO *et al.* 2015). SISPREV is a system for managing inflow forecasting studies. It contains data of nine hydropower plants and fifteen measurement stations. SISPREV stores observed/predicted rainfalls and observed water inflows.

5.4 – Procedure 1.4: Correction of Water Inflow Data Series

We found missed information in the three stations: INR, GAP, and FSB. The water inflow values equal to zero were corrected using linear interpolation.

5.5 – Procedure 2.1: Parameters Automatic Calibration

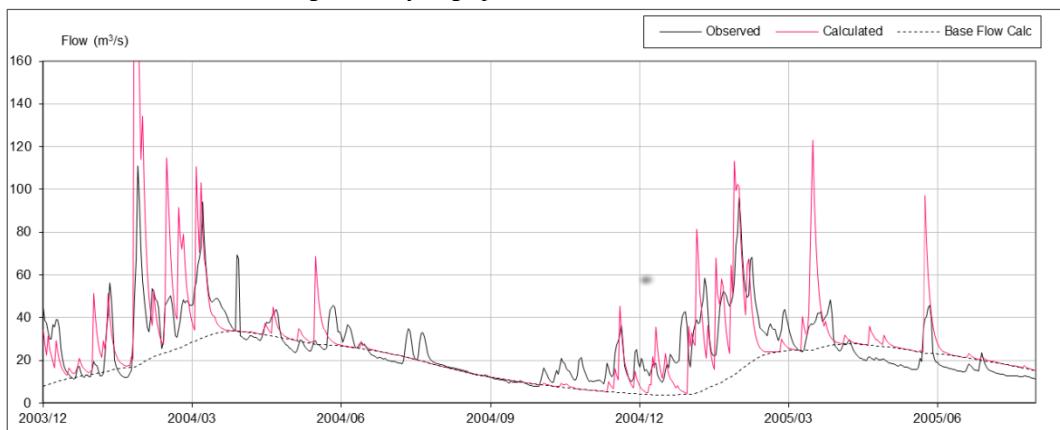
An electronic spreadsheet was prepared to carry out the calculations and it was loaded with the parameters, input variables, and data series. Thus, the Solver tool of *Microsoft Excel* was employed to calibrate the calculated parameters using the performance indicators (quantitative statistics) as objective function.

5.6 – Procedure 2.2: Parameters Manual Calibration

The same electronic spreadsheet was used to proceed a manual re-calibration of the estimated and calculated parameters, trying to reach a better precision in their adjustment. A trial-and-error process was employed to improve the hydrograph bringing closer predicted and observed data.

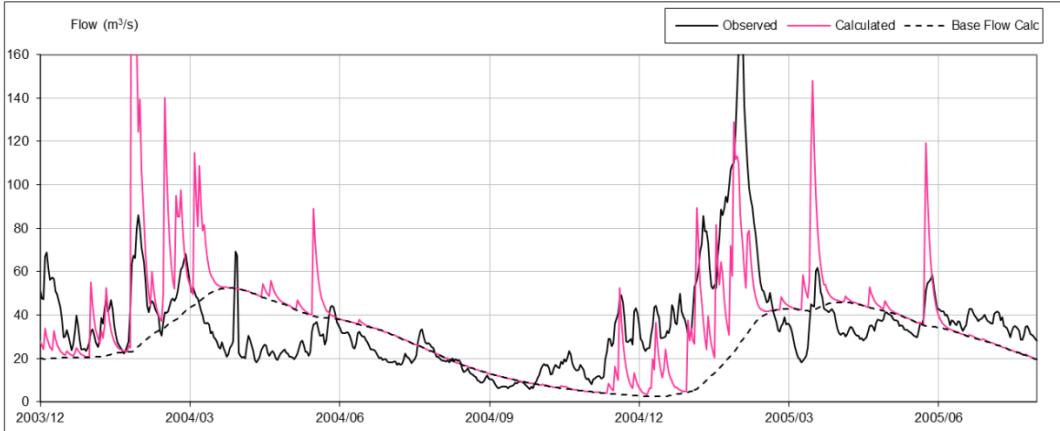
Figures. 2, 3, and 4 show the hydrograph of INR, GAP, and FSB after the model calibration, respectively. From the hydrographs, it is possible to realize that, in general, predicted and observed water inflows are good regarding to time and magnitude of the peaks and shape of the recession curves.

Figure 2 - Hydrograph of INR after the model calibration.



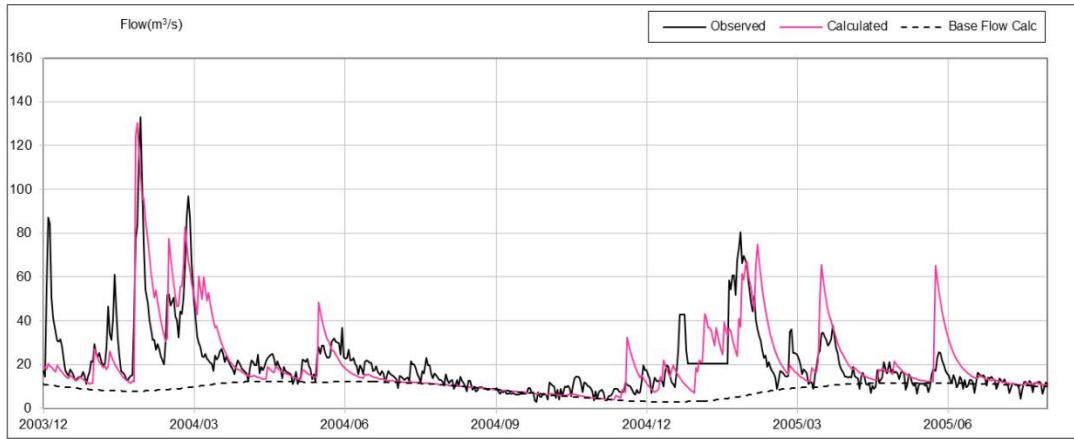
Source: own authorship.

Figure 3 - Hydrograph of GAP after the model calibration.



Source: own authorship.

Figure 4 - Hydrograph of FSB after the model calibration.



Source: own authorship.

5.7 – Procedure 2.3: Stations Weight Definition

The electronic spreadsheet was also applied to adjust the weight of the measurement stations to indicate the importance of each one in the basin context. Again, we used Solver tool of *Microsoft Excel* and the performance indicators as objective function.

5.8 – Procedure 2.4: Validation of the Model

SMAP was applied to data series of the elected validation period, which is from 12/2005 to 08/2007. Its output was satisfactory, validating the previous adjustments.

5.9 – Procedure 3.1: SMAP Operation

For each measurement station, SMAP model was applied to four periods of seven days. They are 21-27 of Feb/2009, 08-14 of Mar/2009, 01-07 of Jun/2009, and 01-07 of Nov/2009. These days were chosen because they represent different seasons with dry and wet periods. In Brazil, the summer is between 21/Dec and 20/Mar (the rainiest period), the fall goes from 20/Mar to 20/Jun, the

winter starts on 20/Jun and finishes on 22/Sep (the driest period); and the spring goes from 22/Sep to 21/Dec.

5.10 – Procedure 3.2: Post-Operation Analysis

Tables IV, V, and VI show the values and ratings of the performance indicators for INR, GAP, and FSB; respectively, in the four periods of seven days. Regarding to NSE, RSR, and PBIAS indicators; for INR (Table VI) 75 % of the indicators are classified as very good and 25 % as good. For GAP (Table VII) 92 % of the indicators are classified as very good and 8 % as good. For FSB (Table VIII) 75 % of the indicators are classified as very good, 17 % as good, and 8% as satisfactory.

In relation to NSE indicator, the analysis is done comparing SMAP and PREVIVAZ outputs. In the report of annual inflow forecasting – 2019 year (ONS, 2019b), PREVIVAZ shows NSE of 0.64 for the Tietê River basin. Using SMAP model and considering the four periods of the presented case studies, the mean NSE is of 0.82 for INR station, 0.90 for GAP station, and 0.71 for FSB station.

Table IV. Model performance for INR station.

Indicator	Days 21-27 Feb/2009		Days 08-14 Mar/2009		Days 01-07 Jun/2009		Days 01-07 Nov/2009	
	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate
NSE	0.75	very good	0.76	very good	0.80	very good	0.99	very good
RSR	0.50	good	0.49	very good	0.45	very good	0.08	very good
PBIAS	-14 %	good	12 %	good	8 %	very good	0 %	very good
PRD	18 %		25 %		17 %		3 %	

Table V. Model performance for GAP station.

Indicator	Days 21-27 Feb/2009		Days 08-14 Mar/2009		Days 01-07 Jun/2009		Days 01-07 Nov/2009	
	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate
NSE	0.88	very good	0.82	very good	0.96	very good	0.95	very good
RSR	0.35	very good	0.42	very good	0.19	very good	0.21	very good
PBIAS	-10 %	very good	11 %	good	7 %	very good	-6 %	very good
PRD	14 %		14 %		7 %		7 %	

Table VI. Model performance for FSB station.

Indicator	Days 21-27 Feb/2009		Days 08-14 Mar/2009		Days 01-07 Jun/2009		Days 01-07 Nov/2009	
	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate	Value	Rate
NSE	0.78	very good	0.74	good	0.97	very good	0.34	very good
RSR	0.47	very good	0.51	good	0.17	very good	0.81	very good
PBIAS	-16 %	satisfactory	9 %	very good	5 %	very good	16 %	very good
PRD	19 %		15 %		5 %		52 %	

V. CONCLUSIONS

The case studies showed a good performance of SMAP model for the three measurement stations of the Tietê River basin: INR, GAP, and FSB. The result in the application of the model showed a NSE between 0.34 and 0.99. This result are very good compared to the result from the annual evaluation report of the national operator of the electrical system for 2019, which showed a NSE between 0.02 and 0.64 using PREVIVAZ model for the Tiete River basin

The worst result in the application of the model showed for FSB station in the third week of the case study. This poor result may have occurred due to the quality of the observed water inflow data, which have equal values for five of the seven considered days.

Two considerations regarding to the studies should be done. First, the rainfall data are observed, that means, the model dealt with potential errors in the data, but not with uncertainties in the data. Second, the performance ratings applied are adequate for a monthly time step. As the evaluation time step increases, a stricter performance rating is warranted. Therefore, although the data do not include uncertainties the performance ratings employed for model evaluation are stricter than necessary.

As future work the authors have two suggestions. The first one is to apply the methodology proposed in this paper to data from other basins of the national interconnected system. This way, it is possible to benefit the energy sector with alternative tools of water inflow forecasting. The second suggestion is to analyze the impact of the input data quality in the result of the water inflow forecasting. For this, the authors recommend to increase the number of measurement points and the quality of measured data.

VI. REFERENCES

- Andrade, M. G., Reis, R. L., Soares, S. & Silva Filho, D. (2012). Análise do erro de previsão de vazões mensais com diferentes horizontes de previsão. **SBA Controle & Automação**, v. 23, n.3, p. 294-305.
- ANEEL (2020). **Novo modelo de previsão de vazões com informação de precipitação para o trecho incremental de Itaipu.** Available in: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/NT_%20173-2007_Modelo_SMAP-MEL_Itaipu.pdf. (Accessed, 22 July 2020).
- Ballini R., Soares Filho S. & Andrade M. G. (2003). Previsão de vazões médias mensais usando redes neurais nebulosas. **SBA Controle & Automação**, 14(3), 680-693. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592003000300008>.
- Batista A. L. F. (2009). **Modelos de séries temporais e redes neurais artificiais na previsão de vazão.** Dissertation (MSc), Lavras Federal University, Minas Gerais, Brazil.
- Boyle D. P., Gupta, H. V. & Sorooshian S. (2000). Toward improved calibration of hydrologic models: Combining the strengths of manual and automatic methods. **Water Resources Research**, 36(12), 3663-3674. doi:10.1029/2000WR900207.
- Castanharo G., Gibertoni R. F. C., Müller I. I., Andriolo M. V., Kaviski E., Guilhon L. G. F. & Rocha V. F. (2007). Previsão de vazões na bacia do rio Iguaçu baseada no modelo SMAP e com incorporação de informações de precipitação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 12(3), 57-68.
- Colonese, J. & Xavier, L. & Araujo, A. (2015). Análise de Erros de Previsão do Modelo Hidrológico PREVIVAZ no Âmbito do Planejamento da Operação do Sistema Elétrico Brasileiro. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**.
- Excel (2020). **Excel Solver – Algorithm and Methods used.** Available in: <https://www.solver.com/excel-solver-algorithms-and-methods-used>. (Accessed, 22 July 2020).
- Gomes C. F. L., Montenegro S. M. G. L. & Valenca M. J. S. (2010). Modelo baseado na técnica de redes neurais para previsão de vazões na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 15(1), 05-15.
- Hidalgo I. G., Barbosa P. S. F., Francato A. L., Luna I., Correia P. B. & Pedro P. S. M. (2015). Management of inflow forecasting studies. **Water Practice & Technology**, 10(2), 402-408. <https://doi.org/10.2166/wpt.2015.050>.
- Laudanna P. R., Costa C. A. S., Lopes J. E. G., Cicogna M. A. & Moribe C. H. (2005). Sistema para a programação e operação em tempo real de sistemas hidrelétricos baseado em previsão de vazões e simulação hidráulica de reservatórios. In: **Anais do XVIII SNPTEE**, Curitiba, Paraná.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D. & Veith T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, 50(3), 885–900.
- ONS (2008). **Ata de reunião - Subgrupo de hidrologia do GT2.** Available in: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Ata_Reuni%C3%A3o_13%C2%AA_SGHidrologia_Minutal.pdf (Accessed, 22 July 2020).
- ONS (2019). **Aplicação do Modelo SMAP/ONS para Previsão de Vazões no Ambito do SIN.** Available in: http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=4737f06f-525a-223d-ee9f-04c17b11058e&groupId=36070 (Accessed, 22 September 2020).
- ONS (2019). **Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazões e Energias Naturais Afluentes de 2019.** Available in: https://sintegre.ons.org.br/sites/6/28/_layouts/download.aspx?sourc eUrl=https://sintegre.ons.org.br/sites/6/28/Produtos/150/pvannual-2019.pdf (Accessed, 07 October 2020).
- Rocha, T., Hidalgo, I. G., Angelis, A. F. & Lopes, J. E. G. (2016). Hydrological Simulation in the Tiete Basin. In: **IAHR Europe Congress**, Liege, Belgium. Hydrological Simulation in the Tiete Basin. Leiden: CRC Press/Balkema, 2016. v. 1. p. 27-27.
- Sousa W. S. & Sousa F. A. S. (2010). Artificial neural network applied to the forecast of streamflow in the Piancó River Basin. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14(2), 173-180.

VII. ACKNOWLEDGMENTS

The research reported herein was supported by National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and Sao Paulo Research Foundation (FAPESP).

VIII. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in this paper.

PROJETO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO COM CONTROLADOR BASEADO EM LÓGICA DIFUSA EM FPGA UTILIZANDO VHDL

DESIGN OF AUTONOMOUS ROBOT WITH A FUZZY LOGIC CONTROLLER ON A FPGA USING VHDL

LEONARDO DE PAULO SILVA; LEONARDO MESQUITA; MATHEUS ALBUQUERQUI DE OLIVEIRA
UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ
leonardo.p.silva@unesp.br; leonardo.mesquita@unesp.br; matheus.albuquerqui@unesp.br

Resumo - O uso de controladores baseados em lógica difusa tem sido cada vez mais comum em diversas aplicações visando solucionar problemas de engenharia. Este artigo tem como objetivo demonstrar o processo de implementação de um Controlador Lógico Difuso (do inglês, Fuzzy Logic Controller - FLC) que será utilizado para controlar a navegação autônoma de um robô móvel. O FLC será sintetizado em FPGA da família Cyclone III presente no kit DE0 do fabricante Intel. O robô móvel foi construído em uma plataforma robótica FALCON, possuindo sensores ultrassônicos acoplados para realizar medições de distância e drivers de potência controlados por sinais PWM (Pulse Width Modulation) que permitiram a implementação do algoritmo de controle diretamente em FPGA. Por fim, serão apresentados os resultados obtidos com a caracterização do FLC proposto e implementado.

Palavras-chave: FPGA. Fuzzy Logic Controller. VHDL.

Abstract - The use of fuzzy logic based controllers has been increasingly common in many engineering troubleshooting applications. This article aims to demonstrate the process of implementing a Fuzzy Logic Controller (FLC) that will be used to control the autonomous navigation of a robot. The FLC will be synthesized in the Cyclone III family FPGA present in Intel manufacturer's DE0 kit. The robot was built on a FALCON robotic platform, having ultrasonic sensors coupled to perform distance measurements and power drivers controlled by PWM (Pulse Width Modulation) signals which allowed the implementation of the control algorithm directly in FPGA. Finally, the results obtained from the characterization of the proposed and implemented FLC will be presented.

Keywords: FPGA. Fuzzy Logic Controller. VHDL.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso de robótica como uma ferramenta educacional está sendo cada vez mais adotada em cursos de Engenharia. A robótica pode ser vista como um instrumento capaz de oportunizar aos alunos experiências próximas às da vida real.

Neste artigo propõe-se o desenvolvimento de um robô de navegação autônomo, cujo controle será realizado por um algoritmo de inteligência artificial, mais

especificamente, usando a teoria da lógica difusa. O controlador será implementado em uma placa FPGA visando permitir que os alunos das disciplinas de Projeto de Sistemas Digitais com VHDL e Eletrônica Digital possam utilizá-lo como experimento didático.

A teoria da lógica difusa expressa as leis operacionais de controle na forma de expressões linguísticas. A lógica difusa, proposta por L. Zadeh em 1965 (ZADEH,1965 – ZADEH,1973), é uma lógica de múltiplos valores que pode ser utilizada para resolver problemas em sistemas de controle onde o modelamento do mesmo é muito difícil ou quase impossível de ser obtido pelo método clássico devido às suas não-linearidades, às variações do processo ao longo do tempo ou à própria imperícia humana em se obter um modelo que represente o sistema. A lógica difusa utiliza a opinião de um especialista da área onde se deseja implementar o controle para que se possa estabelecer um conjunto de regras condicionais que serão utilizadas na implementação mesmo. As regras condicionais utilizadas em sistemas de controle baseado em tal lógica estão na forma de expressões linguísticas, em vez de expressões matemáticas, como nos sistemas de controle baseado na metodologia clássica.

Dentre as diversas áreas onde as aplicações da teoria da lógica difusa já foram realizadas incluem-se equipamentos eletrônicos de consumo, processamento de dados, processamento de sinais, sistemas de controle, visão computacional, dentre outras (MURSHID, et al, 2011).

Conforme Wolf (WOLF et. al., 2009) a utilização de FPGA em robótica decorre do fato do desenvolvimento de diversas pesquisas em aplicações embarcadas, nas quais necessitam-se de sistemas de hardware autônomos e flexíveis. O FPGA é um dispositivo que tem um grande potencial para utilização no controle de sistemas que necessitam de rápida prototipagem sem custos elevados e complexidade de hardware (MONMASSON, 2007). Outras vantagens inerentes a tecnologia FPGA no campo das arquiteturas reconfiguráveis são: a prototipagem rápida, a alta velocidade de processamento, a flexibilidade de hardware e o tempo reduzido de projeto. A plataforma de desenvolvimento DE0 fornece uma solução completa para o desenvolvimento de projetos e aplicações baseadas na família de componentes FPGA CyClone III. A Figura 1 mostra o DE0 Development Board,

Figura 1 - DE0 Education Board .



Este artigo está organizado conforme indicado a seguir: a seção II fornece os conceitos fundamentais para o projeto de um FLC e o mapeamento da variável linguística para entrada e saída do robô autônomo construído com o auxílio do software MATLABTM; a seção III discute como foi desenvolvido o modelo VHDL proposto para a implementação do FLC; a seção IV apresenta os blocos de interface para integrar o controlador sintetizado em FPGA ao robô móvel autônomo; já os resultados, simulações e testes experimentais encontram-se na seção V; uma discussão e a conclusão do trabalho são apresentadas na seção VI.

II. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

2.1 Introdução

A aplicação escolhida para este artigo é um sistema de navegação de um robô autônomo. Segundo Pereira (2006) a robótica móvel engloba os robôs com capacidade de locomoção, como por exemplo, os usados para realizar inspeção em zonas perigosas como incêndios, áreas de desabamentos, áreas de reduzidas dimensões, dentre outras. Portanto, o uso de robôs móveis evita que os seres humanos sejam colocados em situações de risco.

O uso da lógica difusa nesta aplicação se deve ao fato desta metodologia de projeto trabalhar com variáveis linguísticas e regras condicionais, mostrando-se ser muito eficiente para que o robô desvie de obstáculos quando o mesmo é posto para navegar. O modelo foi desenvolvido no MATLAB onde realizamos as simulações e os ajustes finos no modelo antes de transladarmos sua implementação para hardware. O modelo final foi descrito em VHDL e sintetizado em um FPGA.

As entradas do controlador são as distâncias que os obstáculos se encontram do robô, sendo usados sensores ultrassônicos para obtenção dessa informação. A direção e velocidade de rotação dos motores são as variáveis de saída. O software MATLAB possui uma ferramenta de lógica difusa (*Fuzzy Logic Toolbox*) para criar modelos de aplicações baseados nesta lógica. A descrição dos blocos constituintes de um processador difuso genérico é mostrada na próxima seção.

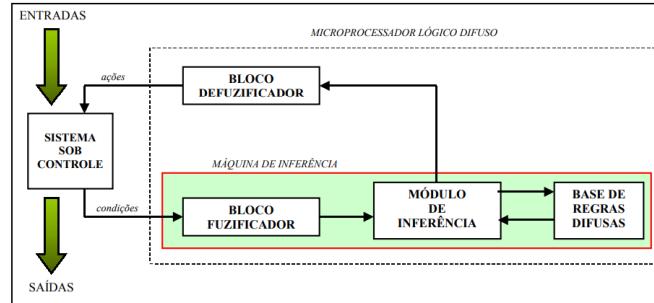
2.2 Processador baseado na lógica difusa

O processador baseado em lógica difusa – FLP é constituído por três blocos principais, a saber: o fuzificador,

o módulo de inferência e o defuzificador. A Figura 2 mostra um diagrama de blocos do FLP.

O módulo fuzificador possui a função de converter o valor da variável de entrada para o seu correspondente valor difuso, ou seja, possui como função principal realizar a translação, da variável medida, do domínio real para o domínio difuso. Essa ação visa ter a variável, no domínio difuso, considerando o valor das incertezas existentes na medida realizada.

Figura 2 – Diagrama em blocos de um processador lógico difuso.



Fonte: Autores, 2020.

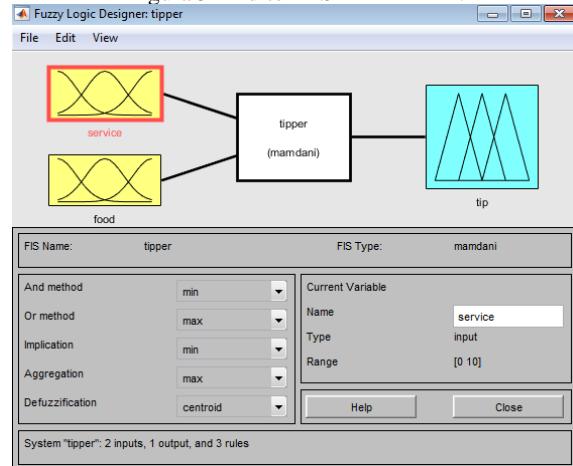
No módulo de inferência são armazenadas as regras que formam a base de conhecimento usada pelo processador para solucionar um dado problema. Normalmente, essa máquina é projetada para execução das regras de modo paralelo. O módulo de inferência avalia as regras de controle armazenadas e produz como saída um conjunto difuso definido no universo de possíveis ações que o sistema deve produzir.

Por fim, o bloco defuzificador tem a função de converter o conjunto difuso, que representa a possível ação a ser tomada no sistema de controle, em um valor real que melhor representa esse conjunto, ou seja, esse bloco possui a função inversa do bloco fuzificador existente no FLP. O modelo do sistema de navegação do robô autônomo baseado na lógica difusa desenvolvido usado o toolbox do MATLAB é mostrado na próxima seção.

2.3 Modelo controlador MATLAB

A interface gráfica do usuário do toolbox de lógica difusa do MATLAB é mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Editor FIS – MATLAB.



Fonte: Matworks, 2020.

Este editor permite que o projetista desenvolva o modelo de sua aplicação usando uma interface completamente gráfica em vez de usar linhas de comando, que na maioria das vezes esse método de abordagem se mostra mais fácil e eficiente na descrição dos modelos. Através da interface FIS Toolbox inserimos as variáveis de entrada e saída do sistema com suas respectivas funções de pertinência, bem como o método de inferência e a estratégia de defuzificação definidas para o projeto.

2.3.1 Definição das variáveis linguísticas

O primeiro passo no projeto do controlador é definir quais e quantas serão as variáveis linguísticas necessárias para representar cada sinal de entrada e de saída dentro do universo de discurso estipulado previamente para a aplicação.

(a) Entradas

As entradas do fuzificador são a distância medida do obstáculo para o robô móvel que são representadas pelo mesmo número de funções de pertinência e possuindo a mesma faixa de valores. O mapeamento foi desenvolvido baseando-se na faixa de medição do sensor ultrassônico usado na aplicação (ELECFREAKS, 2020). Portanto, adotou-se:

- MP: obstáculo muito próximo do robô móvel, distância menor que 20 cm.;
- DB: obstáculo a distância média do robô móvel, distância entre 20 a 60 cm;
- ML: obstáculo a uma longa distância do robô móvel, distância superior a 60 cm.

(b) Saídas

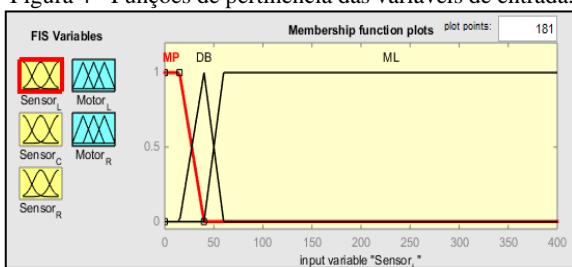
As saídas do controlador são o sentido e velocidade de rotação dos motores, sendo que o tipo de função de pertinência usada na representação bem como a faixa de valores são as mesmas para ambas as saídas deste controlador. As variáveis adotadas são apresentadas a seguir:

- NE: motor girando no sentido anti-horário;
- ZE: velocidade nula, portanto, o robô móvel deve parar quando tal condição for estabelecida;
- PE: motor girando no sentido horário.

2.3.2 Interface de fuzificação

A interface de fuzificação possui a função de converter a informação do domínio real para o domínio difuso. A Figura 4 apresenta o mapeamento usado para as entradas do controlador.

Figura 4 - Funções de pertinência das variáveis de entrada.



Fonte: Autores, 2020.

2.3.2 Base de regras e procedimento de inferência

A base de regras é formada por uma estrutura condicional do tipo

Se <premissa> **Então** <conclusão>,

como por exemplo, para o caso do robô autônomo:

Se sensor-esquerdo (SE) é ML e
sensor-central (SC) é ML e
sensor-direito (SD) é ML

Então

motor-esquerdo (ME) é PE e
motor-direito (MD) é PE.

Isso é o mesmo que afirmar que se todos os sensores estão lendo valores de distância suficientemente longe para serem pertencentes ao grupo muito longe (ML), o robô pode andar para frente impondo uma velocidade positiva em suas saídas.

A esse processamento denomina-se de procedimento de inferência, no qual as ações de controle são diretamente selecionadas a partir do estado do sistema.

Em um FLC, é importante que existam tantas regras quantas necessárias para mapear totalmente as combinações dos termos da variável, isto é, que a base seja completa garantindo que exista ao menos uma regra a ser ativada para qualquer entrada. A base de regras construída para a aplicação é composta por 27 regras por saída, sendo as mesmas apresentadas na Tabela 1 [baseado em Camillo, 2014].

Na literatura são propostos diversos métodos de inferência para sistemas de lógica difusa. O procedimento de inferência geralmente é feito por operações fundamentais da lógica difusa: união, intersecção e complemento. Para o controlador projetado neste trabalho foi utilizado o modelo de Mamdani.

Tabela 1 - Base de regras.

SD SE SC	MP		DB		ML	
MP MP	NE	PE	PE	ZE	PE	NE
MP DB	NE	PE	PE	NE	PE	ZE
MP ML	PE	PE	PE	PE	PE	PE
DB MP	NE	PE	NE	PE	PE	NE
DB DB	ZE	PE	NE	PE	PE	ZE
DB ML	PE	PE	PE	PE	PE	PE
ML MP	NE	PE	NE	PE	NE	PE
ML DB	ZE	PE	NE	PE	PE	NE
ML ML	PE	PE	PE	PE	PE	PE

Fonte: Nogueira, 2013.

2.3.3 Interface de defuzificação

A interface de defuzificação realiza a conversão do valor difuso para o valor real, ou seja, realiza o processo inverso da etapa de fuzificação. Existem diversos métodos para realizar essa ação, e neste projeto estabelecemos o uso do método centroide. Matematicamente, o cálculo do centroide é dado por:

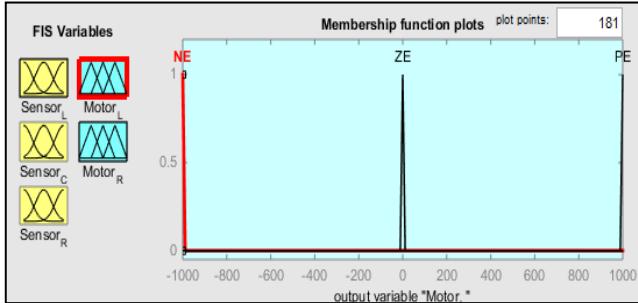
$$\text{Defuz} = \frac{\sum_{i=1}^3 Y[i] \times \text{multfact}[i]}{\sum_{i=1}^3 Y[i]} \quad (1)$$

onde:

- $Y[i]$: o valor máximo possível para cada variável linguística;
- $multfact[i]$: é um coeficiente multiplicativo que representa a variável linguística.

Assim como na entrada, um mapeamento das variáveis linguísticas é realizado para as saídas. O tipo de representação utilizado é o *singleton*. Basicamente, é adotado um coeficiente, que representa uma variável linguística, e o correspondente no eixo das ordenadas representa o valor real. A Figura 5 mostra o mapa de variável linguística adotado para a velocidade de saída do motor.

Figura 5 - Funções de pertinência que representam as variáveis de saída do sistema.



Fonte: Autores, 2020.

A utilização dessa técnica visa simplificar a aritmética do cálculo. Por esse motivo esta técnica é bastante difundida em projetos de FLC's implementados em hardware (DANNENBERG, 2005). A implementação dos blocos constituintes do FLC na linguagem VHDL serão discutidos na próxima seção.

III. IMPLEMENTAÇÃO EM HARDWARE

3.1 Controlador baseado em lógica difusa

O principal objetivo deste trabalho foi projetar e sintetizar um processador baseado em lógica difusa em um FPGA Cyclone III. O símbolo do componente descrito em VHDL é fornecido na Figura 6

Figura 6 - Símbolo do componente FLC.



Fonte: Autores, 2020.

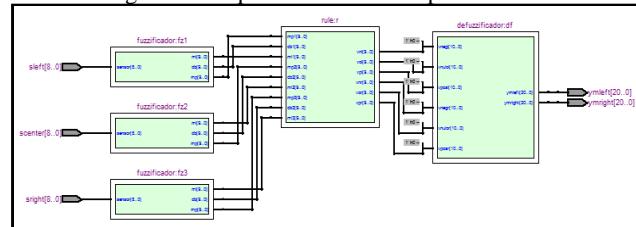
As entradas *sleft*, *scenter* e *sright* representam as distâncias lidas pelos sensores ultrassônicos. As saídas *ymleft* e *ymright* representam os valores de sentido e velocidade do motor fornecidos pelo controlador proposto. A declaração deste componente é fornecida a seguir:

component sintese_fuzzy is

```
port (sleft, scenter, sright : in integer range 0 to 400;
      ymleft, ymright: out integer range -1000000 to
                      1000000);
end component;
```

A arquitetura interna do FLC implementado é mostrada na figura 7.

Figura 7 - Arquitetura do FLC implementado.



Fonte: Autores, 2020.

A estrutura se divide basicamente em três módulos principais: bloco *fuzzificador*, unidade de cálculo de regras denominado *rule* e bloco *defuzificador*. A função de cada um deles é discutida nos tópicos a seguir.

3.1.1. Bloco Fuzificador

Para cada variável de entrada do sistema foi desenvolvido um bloco fuzificador. A declaração de componente deste bloco é fornecida a seguir:

component fuzzificador is

```
port (sensor : in integer range 0 to 400;
      ml, db, mp : buffer integer range 0 to 1000);
end component;
```

A entrada denominada *sensor*, corresponde ao valor de distância do obstáculo ao robô móvel lida em cm. A faixa estabelecida para esse sinal está diretamente atrelada a faixa de medição do sensor ultrassônico utilizado na aplicação. As saídas denominadas *mp*, *db* e *ml*, representam o valor da distância no domínio difuso (variáveis linguísticas) de cada sensor. O conjunto da ordenada do mapa da variável linguística apresentado na figura 6 varia de 0 a 1. Para evitar a manipulação de valores com ponto flutuante, no processo de implementação, mapeou-se o mapa destas variáveis para o intervalo de 0 a 1000.

Figura 8 – Parcada do código representando a função fuzificador desenvolvida em VHDL.

```
-- Muito perto (mp)
PROCESS (sensor)
begin
  if (sensor = 0) then
    mp <= 1000;
  end if;
  if (sensor < 15) then
    mp <= 1000;
  end if;
  if (sensor = 15) then
    mp <= 1000;
  end if;
  if (sensor > 15) then
    if (sensor < 40) then
      mp <= 1000 - ((sensor-15)*40);
    end if;
  end if;
  if (sensor = 40) then
    mp <= 0;
  end if;
  if (sensor > 40) then
    mp <= 0;
  end if;
END PROCESS;
```

Fonte: Autores 2020.

As funções de pertinência foram descritas como sendo equações de segmento de reta, para indicar as parcelas inclinadas, e por uma constante que representa o intervalo no qual a função não varia dentro do universo de discurso.

Uma parcela do código proposto para o circuito fuzificador é mostrado na Figura 8.

3.1.2. Bloco Rule

O bloco *rule* da Figura 7 possui a função de implementar a base de regras e de todo o procedimento de inferência demonstrado na seção II. As entradas são *mp(i)*, *db(i)* e *ml(i)*, no qual *i* é um parâmetro que varia de 1 a 3. Por exemplo, o *mp(1)*, representa a variável linguística MP que está vinculada ao bloco fuzificador 1. Todas as variáveis seguem essa lei de formação. As saídas *vnl*, *vol*, *vpl* representam os graus de pertinência das variáveis linguísticas utilizadas para o mapa de saída do ME (motor esquerdo), enquanto *vnr*, *vor*, *vpr* são referentes aos graus de pertinência do MD (motor direito). A descrição do componente Rule é mostrada a seguir:

component rule is

```
port (mp1, db1, ml1 : in integer range 0 to 1000;
      mp2, db2, ml2 : in integer range 0 to 1000;
      mp3, db3, ml3 : in integer range 0 to 1000;
      vnl, vol, vpl, vnr, vor, vpr : out integer range 0 to
      1000);
end component;
```

end component;

A síntese deste bloco Rule foi realizada a partir do desenvolvimento de dois operadores fundamentais: o operador Mínimo e o operador Máximo, pois assim é possível implementar o algoritmo de inferência proposto por Mandami. Inicialmente, calculou-se o valor mínimo de todas as regras existentes no controlador, e após isso realizamos a agregação (operação máxima) de acordo com o estipulado na base de regras proposta.

3.1.3. Bloco Defuzificador

O bloco *defuzificador* foi desenvolvido para implementar o método centroide, baseado na equação (1). Um trecho do código proposto para o bloco defuzificador é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Trecho do código representando parcialmente a descrição VHDL do bloco defuzificador.

```
PROCESS (vnegl, vnulol, vposl, vnegr, vnulor, vposr)
variable sub : integer range -1000 to 1000;
variable prod: integer range -1000000 to 1000000;
variable crisp: integer range -1000000 to 1000000;
begin
    sub := vposl-vnegl;
    prod := 1000*sub;

    · equação de defuzzificação para o Motor Esquerdo (ME)
    ymleft <= prod/(vposl+vnulol+vnegr);

    if (vnegl = 0) then
        if (vposl = 0) then
            ymleft <= 0;
        end if;
    end if;

    sub := vposr-vnegr;
    prod := 1000*sub;

    · atribuindo os valores crisp a roda direita
    ymright <= prod/(vposr+vnulor+vnegr);

    if (vnegr = 0) then
        if (vposr = 0) then
            ymright <= 0;
        end if;
    end if;

END PROCESS;
```

Fonte: Autores, 2020.

As entradas *vnegl*, *vnulol*, *vposl* e *vnegr*, *vnulor*, *vposr* representam os graus de pertinência de saída retornados pelo bloco *rule* para as saídas ME e MD, respectivamente. A faixa *integer* compreendida para esta variável é justificada pelo mapa da variável linguística de saída apresentado na Figura 5. As saídas *ymleft* e *ymright* correspondem aos valores crisp (“defuzificados”) para as saídas ME e MD, respectivamente. A declaração do componente defuzificador é apresenta a seguir:

component defuzzificador is

```
port (vnegl, vnulol, vposl : in integer range -1000 to
      1000;
      vnegr, vnulor, vposr: in integer range -1000 to
      1000;
      ymleft, ymright : out integer range -1000000
      to 1000000);
end component;
```

Na próxima seção serão discutidos os circuitos de interface necessários para a aplicação.

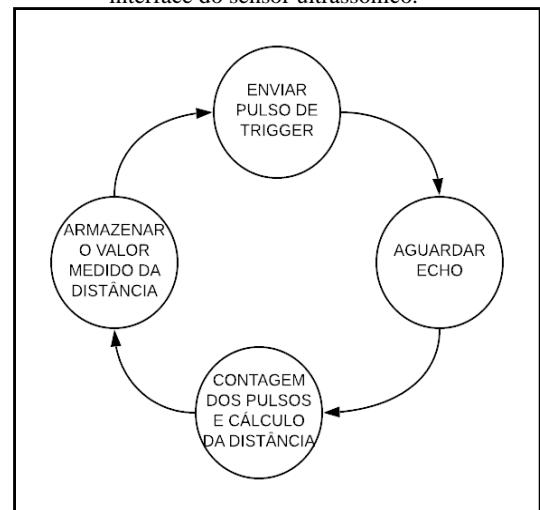
IV. CIRCUITOS DE INTERFACE

4.1. Controlador do sensor ultrassônico

Na aplicação usamos o sensor ultrassônico HC-SR04, pois este possui uma faixa de medição de distância adequada, além de ser um componente de baixo custo. O início do processo de medição ocorre quando o sensor recebe um pulso com largura de $10 \mu s$ no seu pino trigger. Após isso, o sensor emite/gera 8 pulsos ultrassônicos com frequência de 40 kHz. Por fim, o módulo sensor recebe um pulso de echo, cuja largura do mesmo é proporcional a distância do obstáculo com relação ao sensor. A faixa de medição deste módulo é de 2 a 400 cm.

Baseado no princípio de funcionamento deste sensor, propusemos o desenvolvimento de um circuito de interface baseado na metodologia de projeto de *Finite State Machine* (FSM). O módulo baseado em FSM possui 4 estados bem definidos, conforme demonstra a Figura 10.

Figura 10 - Diagrama de estados da FSM do circuito de interface do sensor ultrassônico.



Fonte: Autores, 2020.

A partir destas informações foi possível definir um período de leitura, que é descrito na somatória dos tempos da equação (2).

$$T_{leitura} = t_{trigger} + t_{8-cycle} + t_{echo} \quad (2)$$

Para que não haja sobreposição de informações de leitura, foi necessário estimar qual o valor máximo para o período de leitura. A taxa de leitura estipulada neste projeto foi de 100 ms entre leituras.

Discutidos as características do sensor, parte-se para a especificação do bloco de interface do módulo HC-SR04 denominado de *Sintese_Ultrassom*. O pino de entrada *clk* é conectado ao *clock* de 50 MHz disponível no kit DE0. Já o pino *echo* é conectada ao pino *echo* do sensor HC – SR04. A entrada *on_off*: é responsável por ativar o modulo de contagem, enquanto *rd* é responsável por ativar a leitura dos registradores de saída. A saída *trigger* é responsável por enviar o pulso 10 µs para o sensor. A saída *distance* é responsável por armazenar o valor da distância, medida em cm. A seguir é apresentada a descrição do componente denominado *Sintese_Ultrassom*.

```
component sintese_ultrassom is
    port (clk, rd, echo, on_off : in bit;
          distance : out integer range 0 to 400;
          trigger   : out bit);
end component;
```

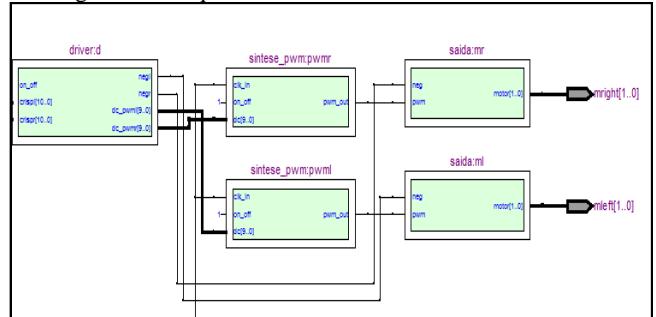
Na arquitetura desta interface, implementou-se um circuito *pre-scaler*, cuja função principal foi produzir um sinal de frequência de 17 KHz. a partir de um sinal de relógio de 50 MHz. Para procedermos a medição da distância acionamos um contador toda vez que a saída *echo* está em nível lógico ALTO, sendo que o relógio deste contador é de 17 kHz. Portanto, o incremento do valor de contagem desse contador corresponde a 1 cm de incremento da distância entre o sensor ultrassônico e o obstáculo. A cada final de ciclo de operação o valor da distância é armazenado em um registrador.

4.2 Interface de controle do motor

Conforme apresentado anteriormente, a saída do FLC é um valor inteiro que está contido entre [-1000; 1000]. Esse dado binário carrega duas informações: o sentido e a velocidade de rotação do motor. O vetor binário está no formato sinal-magnitude, onde o sinal deste vetor representada a informação do sentido de rotação do motor, enquanto a magnitude representa a velocidade de rotação do motor. Baseado nisto, foi desenvolvido um circuito de interface cuja função é realizar a interpretação desta variável de saída, de forma a produzir os sinais referentes a velocidade e sentido de rotação para serem aplicados aos drivers de potências que acionaram os motores do robô. A Figura 11 fornece o diagrama em blocos do circuito de interface que realiza a interpretação dos sinais de saída do FLC.

Nas próximas subseções serão discutidos os projetos dos blocos funcionais desenvolvidos para montar o circuito de interface de acionamento dos motores.

Figura 11 - Arquitetura da interface de saída do controlador.



Fonte: Autores, 2020.

4.2.1 Bloco Driver

A função do bloco driver é extrair a informação de sinal e magnitude da informação de saída do processador lógico difuso (estágio defuzificador). Este componente possui três entradas e quatro saídas. A entrada *on_off* é a entrada de habilitação deste módulo, quando ativa (nível lógico ALTO) o bloco *driver* inicia sua operação. As entradas *crispl[10..0]* e *crispr[10..0]*, recebem os sinais provenientes do processador lógico difuso correspondentes a informação de sentido e velocidade do motor esquerdo e direito, respectivamente. As saídas denominadas *negl* e *negr* são flags, ativos em nível lógico ALTO, que indicam se a informação processada é negativa para o motor esquerdo e direito, respectivamente. As saídas denominadas *dc_pwl[9..0]* e *dc_pwml[9..0]* correspondem a magnitude da informação oriunda do processador, que corresponde a velocidade a ser imposta aos motores esquerdo e direito, respectivamente.

4.2.2 Bloco PWM – Pulse Width Modulation

Os motores utilizados no protótipo do robô móvel autônomo são de corrente contínua. Utilizou-se a técnica de modulação por largura de pulso (do inglês, *pulse width modulation*) para controlar a velocidade de rotação dos motores. Como a velocidade de rotação do motor DC é proporcional a tensão aplicada sobre o mesmo, um modo direto de controle de velocidade é usar a técnica PWM de modo a alterar o valor médio do sinal aplicado ao motor, alterando-se o ciclo de trabalho do sinal aplicado ao motor, e deste modo alterando a velocidade de rotação do mesmo.

O bloco PWM possui três sinais de entrada e um único sinal de saída. A entrada denominada *clk_in* é uma entrada de sincronismo, e recebe o sinal de relógio de 50 MHz oriundo do kit DE0. A entrada denominada *on_off* tem a função de habilitar a saída do bloco. A entrada denominada *dc[9..0]* possui a função de receber o valor de magnitude oriundo do bloco driver, que representa o valor do ciclo de trabalho do sinal a ser gerado por este circuito. Como saída, tem-se um único sinal denominado *pwm_out* que é o pulso PWM gerado a partir das condições de entrada estipuladas.

4.2.3 Bloco SAÍDA

A função do bloco SAÍDA é enviar a informação de sentido e velocidade de rotação para um circuito de potência usado para acionar os motores do robô móvel. Neste projeto utilizamos um circuito ponte H para inverter o sentido de rotação dos motores. Um circuito de ponte H é constituído por um conjunto de chaves eletrônicos interconectadas de tal

modo que é possível invertermos a polaridade do sinal aplicado sobre o motor DC, e deste modo altera-se o sentido de rotação dele.

O bloco SAÍDA possui duas entradas e uma saída. A entrada denominada PWM recebe o sinal PWM oriundo do bloco PWM, e a entrada denominada neg recebe a informação referente ao sentido de informação oriunda do bloco DRIVER. A saída denominada motor[1..0] representa a informação de sentido e velocidade de rotação do motor, sendo composta por:

- [PWM, 0] => rotação do motor no sentido horário, e com velocidade imposta pelo sinal PWM.
- [0, PWM] => rotação do motor sentido anti-horário, e com velocidade imposta pelo sinal PWM.

4.3 Interface elétrica

No robô móvel, objeto desse trabalho foi necessário realizar o interfaceamento elétrico entre os diversos elementos constituintes da aplicação, ou seja, dos sensores, controlador e atuadores. Nessa seção é mostrado como foi realizado o interfaceamento entre os sensores ultrassônicos e o controlador sintetizado no FPGA, e entre o controlador e o driver de potência usado para acionar os motores do robô.

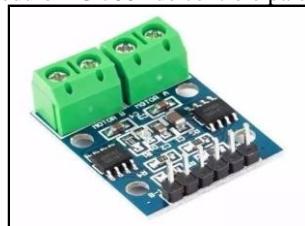
4.3.1 Interfaceamento sensor ultrassônico e controlador

A necessidade deste circuito decorre do fato da incompatibilidade elétrica existente entre os sinais oriundos do sensor ultrassônico e do FPGA Cyclone III presente no kit DE0. Enquanto o sensor HC-SR04 trabalha com níveis de tensão de 0 a 5 V, a placa DE0 trabalha com níveis de tensão de 0 a 3,3 V. Por isso é criado um bloco de interface elétrica baseado em amplificadores operacionais, na configuração somador não inversor, de forma a compatibilizar os níveis de tensão entre estes circuitos.

4.3.1 Interfaceamento controlador e driver de potência

Neste projeto especificamos o módulo HG 7881 (Figura 12) para ser utilizado como o driver de potência para acionamento dos motores DC presentes no robô móvel.

Figura 12. Módulo HG 7881 de controle para motores DC.



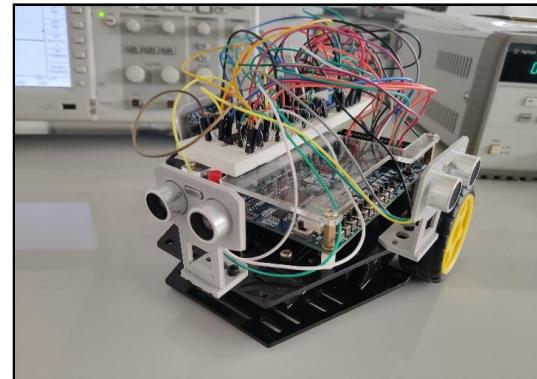
Fonte: Internet, 2019.

A tabela de operação deste componente segue a lógica utilizada para implementação da arquitetura da interface de saída do motor conforme descrito em seu manual de operação (Vida de Silício, 2020). No interfaceamento do FPGA com o referido módulo também houve a necessidade do uso de circuito de compatibilidade elétrica, pois o módulo HG7881 opera com sinais de tensão na faixa de 0 a 5 V enquanto o FPGA opera com sinais de tensão de 0 a 3,3V.

V. RESULTADOS

A Figura 13 mostra o protótipo desenvolvido do robô móvel autônomo. O protótipo é constituído por: 01 plataforma Falcon, 03 sensores ultrassônicos HC-SR04, 01 driver HG 7881, 01 kit DE0, 01 sistema de bateria, 01 protoboard e conectores diversos.

Figura 13 - Protótipo com os três sensores ultrassônicos e dois motores DC.

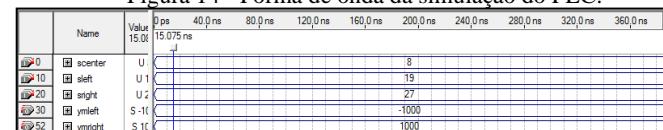


Fonte: Autores, 2020.

5.1 Resultados de simulação

A arquitetura proposta foi compilada e posteriormente simulada usando o software Quartus II 91sp2 do fabricante Intel. Na Figura 14 é mostrado o resultado de simulação do controlador (FLC) considerando que os sensores estão identificando obstáculos próximos ao robô móvel, tanto frontal quanto a direita e a esquerda. Para essa condição é previsto que o motor DC localizado à direita no robô móvel seja acionado no sentido horário com velocidade máxima, e o motor DC localizado à esquerda seja acionado no sentido anti-horário também com velocidade máxima. Isso ocorrerá pois o robô móvel está tentando girar sobre o seu eixo de modo a conseguir um caminho livre dos obstáculos.

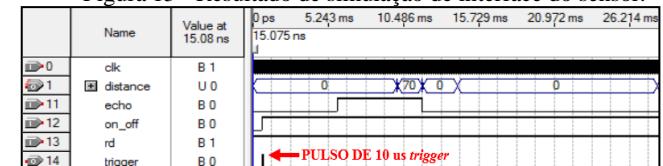
Figura 14 - Forma de onda da simulação do FLC.



Fonte: Autores, 2020.

A Figura 15 mostra o resultado de simulação realizado para validação do circuito de interface do sensor ultrassônico. Nesta simulação foi considerado um pulso de echo com largura de 4,12 ms como sinal de entrada, e obtivemos o valor da distância do obstáculo como saída. O valor de saída obtido de simulação foi de 70 cm, enquanto o valor calculado manual foi de 70,04 cm.

Figura 15 - Resultado de simulação de interface do sensor.

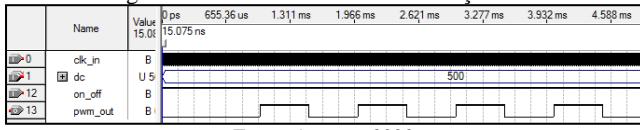


Fonte: Autores, 2020.

A Figura 16 mostra o resultado de simulação referente a validação do controlador PWM. Estabelecemos um valor referência como 500, e obteve-se como resultado um sinal

PWM com ciclo de trabalho de 48,83%. O resultado obtido via cálculo manual foi 48,82%.

Figura 16 - Forma de onda da simulação do PWM.

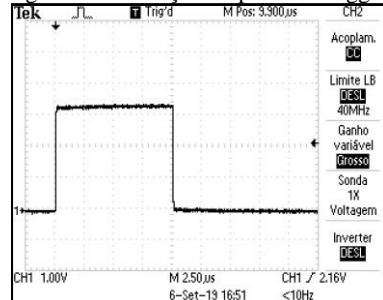


Fonte: Autores, 2020.

5.2 Resultados experimentais

A bancada de medição utilizada para realização dos testes experimentais era composta pelos seguintes equipamentos: 01 osciloscópio Tektronix TDS 1001B, 01 fonte de bancada Agilent HP E 3631A, 01 gerador de função e ondas arbitrárias Agilent 3210A, e 01 multímetro manual Minipa ET-1002. Na Figura 17 é mostrado a geração do pulso de disparo necessário para iniciar a ativação do sensor ultrassônico.

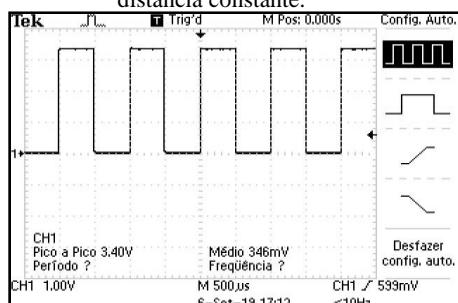
Figura 17 - Medição do pulso de trigger.



Fonte: Autores, 2020.

Na figura 18 é mostrado o resultado de medição do pulso PWM considerando que o robô móvel está parado a uma distância constante de um obstáculo. O procedimento realizado para obtermos essa medição foi suspender o robô móvel, evitando assim o contato de suas rodas com qualquer superfície, e a partir disso foi inserido um anteparo a frente do robô móvel para efetuarmos a medição. Como a distância entre o anteparo e o robô móvel foi mantida constante durante todo o processo de medição, obtivemos um sinal PWM com ciclo de trabalho fixo durante todo o período de ensaio.

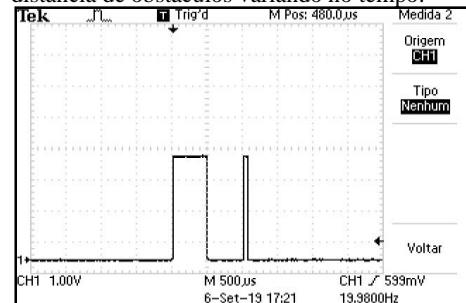
Figura 18 - Medição do PWM de saída do FPGA com distância constante.



Fonte: Autores, 2020.

A Figura 19 mostra o resultado de ensaio quando variado a distância do anteparo para o robô móvel. No resultado apresentado houve uma redução da distância, que neste caso produz uma diminuição no ciclo de trabalho do sinal PWM conforme esperado,

Figura 19 - Medição do PWM de saída do FPGA com distância de obstáculos variando no tempo.



Fonte: Autores, 2020.

É notável, pelo comportamento da largura de pulso do sinal medido, uma imposição do sistema para diminuição de velocidade do motor até chegar em zero. Isso ilustra perfeitamente a inversão no sentido de rotação.

Ambas as medições foram realizadas utilizando-se de um osciloscópio inserido na saída do pino *mleft[1]*, já que quando há um sinal de PWM neste pino, o *mleft[0]* recebe nível lógico baixo.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo teve por finalidade apresentar a metodologia de projeto para implementação de um robô móvel autônomo. O controlador utilizado neste sistema foi baseado em lógica difusa, sendo que o FLC e os controladores de circuitos de interface foram sintetizados no componente FPGA Cyclone-III EP3C16F484C7 presente na DE0 Board.

A partir do uso do software Quartus II 91 sp2 foi possível realizar as simulações e a síntese dos circuitos eletrônicos digitais em FPGA. Outro aspecto apresentado no trabalho foi a discussão sobre a necessidade de uso de circuitos de interface elétrica. Portanto, a partir da elucidação destas etapas de projeto contribuiu-se para o esclarecimento do uso de controladores difusos em aplicações na área de engenharia.

Outro aspecto importante é o possível uso do projeto aqui apresentado e discutido como um instrumento educacional para cursos de engenharia, principalmente nas disciplinas relacionadas à área de eletrônica. Logo, um trabalho futuro poderia aplicar esse projeto em sala de aula e propor aos alunos que realizem atualizações tanto no código proposto para os controladores desenvolvidos em VHDL como no projeto do hardware de interface necessário para a aplicação.

VII. REFERÊNCIAS

L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8:338 – 353., 1965.

E. Monmasson and M. N. Cirstea, FPGA design methodology for industrial control systems - a review. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, V. 54, N.4, pp. 1824-1842, (2007).

_____, Terasic Technologies, DE0 User Manual. URL: http://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive_download.pl?Language=English&No=364&FID=0c266381d75ef92a8291c5bbdd5b07eb.

_____, Elecfreaks, Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. URL: www.elecfreaks.com

J.J. Camilo; S. C. A. Montavani; Lógica Fuzzy e Dispositivos Lógicos Programáveis Aplicados no Controle de Robôs; XIII International Conference on Engineering and Technology Education, March 16 - 19, 2014.

Dannenberg. A., Peter. O, Szabolcs. D, Andor C., Nandor B., Fuzzy Logi Motor Control with MSP430x14x. Texas Instruments. Application report. Frebruary, 2005.

Zadeh, L. A., Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC3, no. 1, January 1973, pp. 28-44.

Asim M. Murshid, Sajad A. Loan, Shuja A. Abbasi, and Abdul Rahman M. Alamoud, VLSI Architecture of Fuzzy Logic Hardware Implementation: a Review International Journal of Fuzzy Systems, Vol. 13, No. 2, June 2011.

F. G. Pereira, Navegação e Desvio de Obstáculos Usando um Robô Móvel Dotado de Sensor de Varredura Laser, Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

M. M. Nogueira, Aplicando Lógica Fuzzy no Controle de Robôs Móveis usando Dispositivos Lógicos Programáveis e a Linguagem VHDL, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, 2013.

WOLF, Denis F.; OSÓRIO, Fernando S.; SIMÕES, Eduardo; TRINDADE JR., Onofre. Tutorial - Intelligent Robotics: From Simulation to Real World Applications. In: Congresso da SBC - Jornada de Atualização em Informática, 2009, p. 279-330.

_____, Manual do HG 7881. URL:
<https://portal.vidadesilicio.com.br/driver-motor-com-ponte-h-l298n/>.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

REVIEW - ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR PARA BOMBEAMENTO DE LÍQUIDOS E O CENÁRIO DE SUA GERAÇÃO NA ALEMANHA, CHINA E BRASIL

REVIEW - ANALYSIS OF THE USE OF SOLAR ENERGY TO PUMP LIQUIDS AND THE SCENARIO OF ITS GENERATION IN GERMANY, CHINA AND BRAZIL

CARLOS AUGUSTO MARCONDES DOS SANTOS; TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - GUARATINGUETÁ

cmarcondessantos@gmail.com; teofilo.souza@unesp.br

Resumo – Este review abordará o uso da energia solar para o bombeamento de líquidos e seus aspectos, incluindo a situação atual da tecnologia e seu futuro. Uma visão do cenário da geração de energia solar na Alemanha, China e Brasil também será abrangida com a finalidade de situar o momento nos maiores produtores desta energia. O sistema de bombeamento de água com o uso da energia fotovoltaica tem sido uma área promissora e motivo de muitas pesquisas durante os últimos cinquenta anos. Os estudos recentes sugerem que o trabalho de pesquisa de desenvolvimento da tecnologia solar para aplicações de bombeamento de água não devem apenas englobar engenharias voltadas para a área energética, mas sim todas as outras ciências com a finalidade de tornar os projetos mais eficazes, sociais e sustentáveis.

Palavras-chave: Energia Solar. Bombearmento de água. Perspectiva global.

Abstract - This review will address the use of solar energy for pumping liquids and their aspects, including the current status of the technology and its future. A view of the solar energy generation scenario in Germany, China and Brazil will also be covered in order to situate the moment in the largest producers of this energy. The water pumping system using photovoltaic energy has been a promising area and the subject of much research during the past fifty years. Recent studies suggest that research work on developing solar technology for water pumping applications should not only encompass engineering focused on the energy field, but all other sciences in order to make projects more effective, social and sustainable.

Keywords: Solar energy. Water pumping. Global perspective.

I. INTRODUÇÃO

O bombeamento de água através de motor a diesel tem sido uma solução atrativa devido às faixas de potência das bombas e de seu menor investimento inicial, isto é o que afirma Ramazan Senol (2012) em seu estudo sobre a relação da energia solar e da irrigação. Pode-se dizer que um bombeamento de água recebe diversas demandas diferentes ao longo do dia no qual implica em um estudo pouco mais complexo de qual sistema implantar. No entanto, o sistema convencional a diesel encontra problemas com o passar dos anos, esbarrando no preço do combustível e as exigências de

manutenção, forçando a busca por novas alternativas para o bombeamento de líquidos aliando o desenvolvimento tecnológico com o desenvolvimento sustentável (BOETTI et al., 2017). Segundo Hoque, Roy e Beg (2016) a vida útil de uma bomba movida à energia solar é maior e menos dispendiosa do que bombas a diesel.

O bombeamento de líquidos com a ajuda de células fotovoltaicas vem sendo desenvolvido e implementado por muitos países ao redor do mundo devido ao Sol, fonte deste tipo de energia, ser presente em todos os lugares do globo terrestre por variadas horas em diferentes dias do ano, sendo assim, quanto mais é aplicado e desenvolvido globalmente, mais esta tecnologia se torna auto-sustentável e completa (EL-SHIMY, 2013). Estes sistemas com o uso de energia solar estão cada vez mais eficazes e suas aplicações como bombeamento de água para casa, pecuária e ambientes rurais como um todo estão se tornando cada vez mais comuns nos dias de hoje, sendo as células fotovoltaicas um componente de estado sólido capaz de converter a energia da luz solar diretamente em eletricidade, utilizando o efeito fotovoltaico (SENOL, 2012).

O efeito fotovoltaico pode ser descrito da seguinte maneira: a luz solar é composta de fótons, ou partículas de energia solar, sendo que estes fótons contém uma grande quantidade de energia correspondente aos diferentes comprimentos de onda do espectro solar. Esses fótons ao se colidirem com uma célula fotovoltaica podem ser refletidos ou absorvidos, ou até mesmo atravessar direto a célula, sendo somente os fótons absorvidos geram eletricidade, transferindo a energia do fóton a um elétron de um átomo da célula, que é de fato um semicondutor, geralmente o silício (BOETTI et al., 2017). Com essa nova energia, o elétron sai de sua posição original no átomo se fazendo corrente elétrica em um circuito, e ao deixar essa posição o elétron também deixa uma lacuna para que outro elétron a ocupe. Sendo assim, as propriedades especiais das células fotovoltaicas com um campo elétrico nela embutido fazem com que esta corrente produza uma diferença de potencial para que haja

corrente elétrica em uma carga externa, é o que explica Boetti et al. (2017).

Vários estudos vêm sendo realizados em volta da aplicação de sistemas de bombeamento fotovoltaico, como por exemplo, os sistemas de bombeamento fotovoltaicos impulsionados por coletores de rastreamento, experimento e simulação feitos por Benghanem et al. (2014), ou simplesmente para melhorar a eficácia dos painéis fotovoltaicos convencionais para se gerar energia elétrica para as bombas de bombeamento de líquidos.

A grande facilidade de se utilizar energia solar hoje em dia a torna muito atrativa para sistemas de bombeamento de água no campo e para agricultura. A aplicação integrada de um sistema de bombeamento fotovoltaico com gotejamento em sistemas de irrigação tem sido estudada e provou ser uma tecnologia apropriada para o cultivo de pomares, hortaliças e outras plantações em geral ao redor do mundo (BENGHANEM et al., 2014). A modelagem de sistemas de bombeamento de água através de células fotovoltaicas e a avaliação de suas emissões de CO₂ foram testadas por Benghanem (2014) e os resultados são extremamente motivantes em relação a qualquer outro tipo de geração de energia.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água

Um sistema de bombeamento de água fotovoltaica é um sistema que utiliza a energia solar como principal fonte de energia para o deslocamento de água de um ponto ao outro. Nestes sistemas, as células fotovoltaicas são usadas para converter energia solar em energia elétrica, que é então utilizada por uma unidade de bombeamento de água para o deslocamento da mesma (GAO et al., 2018). Mwanza (2016) afirma que estes sistemas são a melhor solução e alternativa para áreas rurais longe da rede elétrica em se tratando de bombeamento para fornecimento de água limpa e melhorada às comunidades e agricultores rurais. Nestes sistemas a água é geralmente bombeada durante o dia e mantida em grandes tanques para tratamento e uso durante o dia, noite ou sob dias nublados ou chuvosos. Processo este que se mostra eficaz contra o uso excessivo de várias baterias (MAZOUZ; MIDOUN, 2011).

Ainda nos dias de hoje em diversas regiões rurais ou afastadas do mundo as pessoas têm de andar longas distâncias para tirar água de rios, córregos ou poços onde normalmente são localizados longe das comunidades, sendo assim, um bom sistema de bombeamento de água utilizando da energia solar se mostra a melhor alternativa de solução para estas zonas rurais, melhorando o acesso à água para diferentes motivos e aplicações (RAHRAH et al., 2015).

Um sistema solar autônomo tipicamente de sistemas de bombeamento de água geralmente consiste em painéis fotovoltaicos, unidade de condicionamento de energia, unidade de bomba-motor e infraestrutura para se levar a água ao tanque ou reservatório, sendo opcional ao tipo de aplicação e projeto o uso de baterias (SONTAKE; KALAMKAR, 2016). O uso de sistema de bombeamento de água por energia fotovoltaica em áreas afastadas ou mais pobres pode contribuir muito para o desenvolvimento de áreas rurais, além de seu potencial para se bombear e fornecer água para as comunidades e agricultores distantes, também cria emprego e reduz o uso de águas rasas não tratadas, fontes de água hoje

muito utilizado globalmente, reduzindo, assim, problemas relacionados a doenças nestes locais (MWANZA, 2016).

2.2 – Atual situação da tecnologia

Chadel, Naik e Chadel (2015) afirmam que hoje os sistemas de bombeamento automáticos, contribuem para durante o dia sempre existir água estocada em tanques, mesmo após dias nublados ou chuvosos, evitando o uso de baterias. Geralmente a bateria não é usada para armazenamento de eletricidade em sistemas fotovoltaicos instalados para bombeamento de água, elas são somente para requisitos específicos onde se exige alta confiabilidade (RAHRAH et al., 2015). Sánchez, Ortíz e Bernat (2015) afirmam que o sistema de bombeamento de água através de energia solar tem suas limitações de desempenho conhecidos hoje em dia, mas podem ser sobrepostos através de designs e projetos adequados à aplicação.

Atualmente alguns fabricantes vêm desenvolvendo produtos para melhorar a desempenho e confiabilidade destes processos e painéis solares, através de novas tecnologias e materiais para o processo fotovoltaico (RAHRAH et al., 2015). Um acoplador direto para corrente continua é simples e confiável, porém não se pode operá-lo no máximo de potência. No entanto, adicionando um rastreador de ponto de potência máxima para controle e proteção, desenvolvidos por cientistas e fabricantes, previne-se este tipo de problema e aumenta-se o desempenho na geração de energia conforme a incidência solar durante o dia (RANJAN; GOVIND; POUL, 2014).

A queda atual nos preços dos painéis solares fotovoltaicos vem tornando cada vez mais o bombeamento de água através deste tipo de energia mais econômico e viável e um aumento vasto no leque destas aplicações vêm sendo estudado por diversos pesquisadores, com isso os sistemas de bombeamento fotovoltaicos têm mostrado avanços significativos na última década (RANJAN; GOVIND; POUL, 2014). As atuais tecnologias de bombeamento solar utilizam de sistemas eletrônicos aumentando ainda mais o poder de saída, o desempenho do sistema e a eficiência como um todo do processo fotovoltaico (CHANDEL; NAIK; CHANDEL, 2015).

2.3 – Situações financeiras e subsídios do bombeamento solar

Uma das razões pelas quais a aplicação do bombeamento de água através de energia solar tem aumentado são os subsídios estatais diretos e indiretos para investimento de capital neste tipo de sistema. Isso pode ser considerado uma decisão política ativa e sustentável de redução do consumo de energia não limpa, se acumulando e prosperando dentre os países que se movem em direção às reduções de emissões de CO₂, seja pela conscientização ou pela aplicação de tratados internacionais (HOQUE; ROY; BEG, 2016).

A demanda por essa tecnologia é também ligada à disponibilidade de eletricidade, condições de fornecimento e custo, comparando-se com outras fontes de energia utilizadas para irrigação, comunidades ou outras aplicações rurais. Apesar das bombas com tecnologias solares custarem mais para se iniciar as operações do que as bombas a diesel, os estudos parecem concordar que a redução de custo varia de acordo com o investimento inicial necessário e a viabilidade de acessar os componentes do projeto através de importação,

superando as barreiras comerciais e alfandegárias (MAHJOUBI et al., 2013). Se as condições de fornecimento de energia forem aceitáveis e o fornecimento de eletricidade de baixo custo para o consumidor, as motivações para este tipo mudança de bombeamento, através de energia solar, são praticamente nulas (HRAYSHAT; AL-SOUD, 2004).

Embora muitos estudos tenham comprovado que a vida útil de uma bomba movida à energia solar é maior e menos dispendiosa do que bombas a diesel, os subsídios aos combustíveis na maioria dos países podem tornar as bombas a diesel economicamente mais vantajosas, independentemente de qualquer vantagem técnica fornecida por bombas solares, restando apenas motivações sustentáveis para esta mudança (HOQUE; ROY; BEG, 2016). Além disso, os custos iniciais e de manutenção são estimados em estudos econômicos, mas raramente são desagregados por produto individual ou componente (TIWARI; KALAMKAR, 2018). Os custos totais somam-se a necessidade de mais água por hora, a necessidade em alguns casos de bomba adicional e a construção de um reservatório para se armazenar a água bombeada durante as horas de radiação solar (HOQUE; ROY; BEG, 2016).

Espera-se que os subsídios e incentivos financeiros, como linhas de crédito e empréstimos, continuem a crescer cada vez mais ao redor do mundo, tornando o valor líquido da instalação de sistemas de bombeamento de água através da energia solar cada vez menor com o passar do tempo (CLOSAS; RAP, 2017). Através das ferramentas fiscais a tecnologia de geração de energia utilizando a luz solar se torna mais atrativa e economicamente viável para muitos pequenos e médios agricultores com dificuldades de acesso ao capital. Igualmente, se os subsídios não são dados durante a vida útil do projeto e a água subterrânea ou de riachos estiver esgotada, então a taxa interna de retorno de tal projeto poderia ser afetada, levantando preocupações sobre a sustentabilidade financeira do investimento e aumentando os custos futuros do sistema (HRAYSHAT; AL-SOUD, 2004). Tarifas especiais e políticas de fixação de cotas mínimas de energia renovável é realidade em países como China e Alemanha, líderes em energia solar, que estão deixando de lado o sistema de tarifas convencional para usar o sistema de fixação de cotas mínimas de energia renovável (TAFARTE; EICHHORN.; THRÄN, 2019).

2.4 – Futuro dos sistemas de bombeamento movidos a energia solar

Em termos de eficiência, os sistemas de bombeamento utilizando energia solar não têm números iniciais expressivos ou alto rendimento. Porém a eficiência não deve ser a principal prioridade na escolha da tecnologia apropriada, especialmente porque a fonte renovável sempre deve ser priorizada em relação a qualquer outro tipo de fonte não sustentável, portanto os principais fatores são custo e o impacto no meio ambiente (TIWARI; KALAMKAR, 2018).

Um sistema solar de bombeamento produzido localmente tem um custo mais acessível e amigável ao meio ambiente em comparação com os sistemas importados, logo, sempre se deve ponderar cada projeto individualmente (ISHII; HASEGAWA, 2017) e considerar a industria local. A facilidade e acessibilidade aos sistemas fotovoltaicos as fazem uma opção cada vez mais viável para testes e inovação hoje em dia, o que tornam as pesquisas cada vez mais constantes e aprofundadas no tema, melhorando suas

aplicações, eficiência e sustentabilidade econômica (JURASZ et al., 2018).

Novos sistemas vêm sendo desenvolvidos e já estão colocados em testes por diversos cientistas ao redor do mundo para se melhorar os componentes de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água, por exemplo. Motores, bombas, concentradores, painéis, semicondutores entre outros estão cada vez mais próximos de um rendimento comparável a equipamentos convencionais de bombeamento de água que utilizam, por exemplo, motores a diesel ou energia elétrica provida de concessionárias de energia (ISHII; HASEGAWA, 2017).

Diferentes tipos de bombas estão sendo testados na Europa, África, Ásia e Austrália pelos laboratórios TÜV Rheinland (2016), empresa alemã localizada no mundo todo. O sistema testado pela TÜV é focado em atender metas do Banco Mundial focados na redução do custo da água para áreas rurais. Como resultado destes testes, o sistema projetado pode fornecer o m³ de água por US\$D 0,2 (TÜV, 2016). Sistemas semelhantes estão sendo pesquisados recentemente, no entanto, as maiores das pesquisas realizadas focam no potencial do ciclo de geração de eletricidade (SONTAKE; KALAMKAR, 2016).

Ishii e Hasegawa (2017) modelaram um motor incluindo um prato solar com sistema concentrador e receptor térmico que tem aumentando a eficiência da captação de água. A eficiência global do sistema foi projetada para aumentar em 10,4% a transformação da energia solar em energia elétrica. Logo, um sistema de bombeamento de 70% de eficiência poderia ter sua eficiência de bombeamento aumentado para de 80,4% (ISHII; HASEGAWA, 2017).

Portanto, o futuro da tecnologia solar de bombeamento de líquidos está caminhando conforme os incentivos realizados nas pesquisas vêm aumentando ao redor do mundo, sendo a promessa é de que se iguale aos sistemas convencionais já conhecidos hoje em dia se tratando de eficiência e sustentabilidade, é o que afirmam Tiwari e Kalamkar (2018).

2.5 – Cenário da energia solar na Alemanha

A energia provida do sol na Alemanha foi responsável por cerca de 6,2 a 6,9% da geração de eletricidade líquida do país no ano de 2016, tendo os painéis solares espalhados por todo o país em cima de casas e em áreas descampadas (TAFARTE; EICHHORN; THRÄN, 2019). Só em 2014 foram instalados um milhão e meio de sistemas fotovoltaicos por todo país, desde pequenos sistemas de cobertura a grandes e médios parques solares comerciais. As maiores usinas solares da Alemanha estão localizadas nas regiões de Meuro, Neuhausenberg e Templin e totalizam mais de 100 MW instalados (CASADO et al., 2014).

A Alemanha está entre os principais instaladores fotovoltaicos do mundo há vários anos e é o principal da Europa, com uma capacidade total instalada de 41,3 GW registrados no final de 2017, atrás apenas da China (TAFARTE; EICHHORN; THRÄN, 2019). No entanto, desde 2011, ano em que foi batido o recorde, as novas instalações de sistemas fotovoltaicos têm diminuído de forma constante. Estima-se que mais de 70% dos empregos do país na indústria solar tenham sido perdidos no setor solar nos últimos anos, é o que afirmam Tafarte, Eichhorn e Thrän (2019). Os líderes da indústria fotovoltaica no país culpam a falta de compromisso governamental, enquanto os líderes

políticos apontam que a carga financeira associada à rápida implantação de energia fotovoltaica tornou a transição para energias renováveis inviável economicamente (TAFARTE; EICHHORN; THRAN, 2019). Contudo, o objetivo oficial da Alemanha continua sendo aumentar continuamente a contribuição das energias renováveis para o consumo geral de eletricidade do país. As metas mínimas de longo prazo são de 35% até 2020, 50% até 2030 e 80% até 2050 de capacidade instalada de energias renováveis no país (CASADO et al., 2014).

O país produz cada vez mais eletricidade nos horários específicos com alta irradiação solar, mais do que realmente precisa, reduzindo os preços da energia no mercado e exportando seu excedente para os países vizinhos, com um excedente exportado recorde de 34 TWh em 2015, que é um novo recorde (TÜV, 2016). Um declínio nos preços da eletricidade para a população pode, contudo, elevar os preços da eletricidade para clientes de varejo, aumentando assim o preço de produtos finais, já que as concessionárias de energia têm como meta manter seus lucros (WILLEKE; RÄUBER, 2012).

Segundo Tafarte et al. (2019), atualmente a parcela de eletricidade gerada combinada de vento e sol na Alemanha está se aproximando 17% do total produzido no país. Adaptações da rede elétrica, construções de novas capacidades de armazenamento em rede, desmontagem e alterações de usinas nucleares e fósseis estão mudando a cara do país, mostrando que o investimento em infra-estrutura apesar de ter diminuído, continua com saldo positivo ano a ano na Alemanha. As energias renováveis estão se tornando cada vez mais acessíveis e eficientes, o que já está mudando a cara de grandes países, mudança essa a qual pode ser vista na Alemanha e deve ser espelhada rapidamente, é o que afirma Dinçer (2010).

2.6 – Cenário da energia solar na China

A China, hoje, é o maior produtor mundial de energia solar, isto é o que afirma a Administração Nacional de Energia (NEA, 2018). Atualmente o potencial fotovoltaico instalado na China subiu para 77,42 GW, registrados no final de 2016, com a adição de 34,54 GW ao longo do ano, o qual é até hoje o recorde mundial de energia instalada em um único ano. As províncias de Shandong, Xinjiang e Henan ficaram entre as quais tiveram o maior aumento da capacidade, enquanto Xinjiang, Gansu, Qinghai e Mongólia Interior foram as regiões que terminaram com maior potência de energia solar total ao final do ano (NEA, 2018).

A Alemanha, no seu melhor ano, alcançou um então recorde de 7,6 GW de energia solar instalada em 2012 (TÜV, 2016), enquanto a China relatou a instalação de 12,9 GW em 2013, isto antes do incentivo à maior geração distribuída de painéis solares sofrer uma desaceleração nas instalações em 2014 (NEA, 2018). Todos estes indícios já davam conta que a China iria se tornar a maior geradora deste tipo de energia no mundo.

Segundo a Agência Chinesa de Energia (2018) o país ainda tem como meta audaciosa instalar mais de 110 GW em capacidade de energia solar num período entre 2016 e 2021, segundo o plano de desenvolvimento solar. Os chineses traçaram o plano que visa impulsionar o uso de fontes não fósseis de geração de energia limpa para 20% em 2030, além disso, planejam investir cerca de US\$ 364 bilhões de dólares em geração de energia renovável até 2021 (NEA, 2018). Este

é um dos exemplos que os chineses vêm dando para o mundo e mostrando a nova tendência em grandes investimentos neste tipo de geração de energia (ZHANG et al., 2013). A fazenda de energia solar Longyangxia Dam Solar Park, construída na província de Qinghai é a maior fazenda solar do mundo, sendo construída com um orçamento de 2.6 bilhões de reais e ilustrada na Figura 1. A capacidade de produção desta fazenda solar é de 850 MW, podendo suprir a necessidade de energia de até 200 mil famílias na China (NEA, 2018).

Figura 1 – Fazenda de energia solar Longyangxia Dam Solar Park



Fonte: NEA, 2018.

Na China, o crescimento do setor de energia solar teve um grande aumento quando as políticas se estabilizaram e amadureceram, sendo que estas experiências e lições podem ser uma excelente base de referência para países que tem potencial e pretendem investir neste segmento de geração de energia (ZHANG et al., 2013). O enorme potencial solar de alguns países exige que o governo torne o desenvolvimento do setor de energia renovável uma questão de estratégia nacional e não apenas um modelo de negócio qualquer (SCHUMAN; LIN, 2012). Investimentos sustentáveis sempre devem ser incentivados e subsidiados, principalmente quando o assunto é um tipo de energia renovável e que está se tornando cada vez mais barata e eficiente, seja com apoio a pesquisa ou com isenções fiscais e tributárias para quem investe, isto é o que afirmam Schuman e Lin (2012).

2.7 – Cenário da energia solar no Brasil

No ano de 2016 o Brasil registrou 51,1 MW de potência instalada de geração solar, correspondentes a exatamente 3.851 instalações, isto é o que afirma a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2016). Em 2015 a ANEEL passou a usar uma nova medida de contabilizar as estações geradoras de energia elétrica, dividindo em duas categorias: as outorgadas com registro e as distribuidoras.

Atualmente há um sistema de informações próprio e um processo de controle de qualidade dos dados para facilitar todo o gerenciamento, é o que informa a ANEEL (2016). Segundo Silva Filho et al. (2019), o preço do kW instalado de geração fotovoltaica está entre R\$ 7.000 e R\$ 13.000,00, tudo isso dependendo das condições locais de irradiação solar, da superfície de instalação e da tecnologia empregada no sistema de geração. Em se tratando de consumo mensal, de 500 e 1.000 kWh, existe a necessidade de potência entre 4 e 10 kW (SILVA FILHO et al., 2019).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), no Brasil existe um plano de expansão de energia chamado de Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), um documento informativo voltado para toda a sociedade, com uma indicação, e não determinação, das perspectivas de expansão futura do setor de energia sob a ótica do Governo no horizonte decenal. No PDE/2024 (2020) estima-se que a capacidade instalada de geração solar chegue a 8.300 MW em

2024, sendo 7.000 MW de geração centralizada e 1.300 MW de geração distribuída. Devido a estas metas, a proporção da geração solar chegará a 1% do total gerado para aquele ano, um avanço pequeno, porém muito valioso quando se trata de Brasil e suas burocracias e dificuldades políticas e econômicas.

Devido ao forte crescimento das instalações distribuídas no PDE/2024 (2020), o ciclo PDE/2025 (2020) ampliará suas metas nacionais para a modalidade de geração de energia provida do sol, podendo passar de 5.000 MW ao final do período de metas.

O governo federal brasileiro e a EPE também criaram o Plano Nacional de Energia (PNE), o qual é um plano diretor fundamental para o planejamento do setor energético do país para 2030 e 2050, avaliando tendências na produção e no uso da energia e gerenciando as alternativas para expansão da oferta nas próximas décadas. Segundo o PNE/2050 (2020) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (2020), estima-se que 18% dos domicílios em 2050 contarão com geração fotovoltaica, sendo 13% do consumo residencial. Se tratando de aquecimento de água por energia solar, a previsão é que 20% dos domicílios detenham coletores solar.

No Brasil ainda desconhecido e pouco divulgado, existem alguns incentivos governamentais oferecidos pelo governo federal aos interessados em investir, pesquisar ou implantar sistemas de geração de energia elétrica através da utilização da energia solar (SILVA FILHO et al., 2019). Os principais incentivos oferecidos no Brasil são: a isenção de IPI, ICMS, PIS, Confins, desconto na TUST/TUSD, redução do imposto de importação, inclusão no programa Mais Alimentos, apoio do BNDES e Plano Inova Energia (ANEEL, 2016).

O Brasil tem um dos melhores espaços para a expansão da energia solar no globo terrestre, isto é devido à irradiação solar no país, ou também conhecida como insolação, perdendo somente para a Austrália no mundo. Ao se comparar os valores medidos no Brasil com a Alemanha, país referência em termos de geração de energia solar, o resultado é expressivo (FERREIRA et al., 2015). A Alemanha tem índice de irradiação equivalente entre 900 e 1.250 kWh/m² por ano, enquanto o Brasil tem entre 1.500 e 2.400 kWh/m² por ano. Sabe-se hoje que o estado do Paraná tem os piores índices nacionais de irradiação solar, 1.500 kWh/m² por ano, sendo superior aos melhores resultados solares medidos na Alemanha, 1.250 kWh/m² por ano, porém quando se trata de aproveitamento da energia solar a Alemanha prevalece acima do Brasil (ANEEL, 2016).

IV. CONCLUSÃO

Através deste review as conclusões obtidas do processo de utilização da energia fotovoltaica e suas utilidades são de que a energia solar para irrigação tem um potencial enorme, com ótima oportunidade de carga e demanda no meio rural a ser utilizado em ambos os aspectos de irrigação e energia, tornando a integração de tecnologias de energia solar e de recursos hídricos, para irrigação e outras necessidades do campo, de extrema importância para garantir o melhor desempenho da água, a redução de custos com energia elétrica e uma geração de energia sustentável.

A inovação em novos modelos de negócio fornece uma nova oportunidade de alcançar novas fontes de renda no campo e alavancar o desenvolvimento tecnológico relacionado à exploração da energia solar. Novos desafios

para coordenar diferentes partes interessadas, consumidor e fornecedor, são criados pela utilização desta tecnologia, um novo tipo assistência é necessário não apenas em produtos e dispositivos, mas também na capacitação da população para a utilização destes novos recursos.

Olhando para as tecnologias de bombeamento de água promovidas pela energia solar, pode se concluir que estão desenvolvidas, acessíveis e praticamente desprovidas da necessidade de manutenção durante o curso de sua vida útil. Os estudos até agora envolvendo esta tecnologia sugerem a melhor maneira de se aperfeiçoar o custo e design do sistema de energia fotovoltaica é entender os requisitos da utilização e realizar uma extensa pesquisa no local para analisar as condições de trabalho do sistema e clima, sendo cada projeto otimizado para o seu local de atuação.

Ao se falar de Brasil e a utilização da energia solar para irrigação, estamos falando de um país onde ainda se desenvolve na implantação desta tecnologia. Atualmente apenas grandes fazendeiros ou investidores têm a condição de implantar tais métodos sustentáveis em seus negócios agropecuários. Apesar de alguns incentivos, ainda não é barato se implantar o sistema em pequenas propriedades, fazendo com que o pequeno investimento seja continuo na manutenção e combustível para os sistemas a diesel.

Portanto se conclui que o Brasil deveria adotar formas mais eficazes de se explorar a energia solar e gerar lucros no território nacional. As nações nas quais obtiveram sucesso no setor energético solar ao redor do mundo conseguiram se impulsionar através de abordagens diferentes, como tarifas especiais e políticas de fixação de cotas mínimas de energia renovável. Atualmente a China e a Alemanha, dois exemplos mundiais em energia solar, estão deixando de lado o sistema de tarifas para usar o sistema de fixação de cotas mínimas de energia renovável. As mudanças devem estar sempre alinhadas às tendências globais de desenvolvimento sustentável do setor energético.

A aplicação de sistemas de bombeamento fotovoltaicos tem finalmente a capacidade real de reduzir a utilização de energia fóssil, no caso o diesel, comprovadamente. Sendo assim, o sistema de bombeamento fotovoltaico tem bom potencial para aplicação em irrigação e agricultura em geral, especialmente em áreas onde a eletricidade é de difícil acesso ou não há fornecimento algum por parte das concessionárias de energia.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENGHANEM, M. et al. Effect of pumping head on solar water pumping system. *Energy Conversion and Management*, v. 77, p. 334–339, 2014.
- BOETTI, N. G. et al. Solar pumping of solid state lasers for space mission: A novel approach. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, v. 10564, n. October 2012, p. 1–6, 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. *Retrospectiva ANEEL 2015*. Brasília: MNE, p. 76, 2016.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia*. Brasília: MNE, p. 16, 2020.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia*. Brasília: MNE, p. 86, 2020.
- CASADO, E. et al. Production, consumption and research on solar energy: The Spanish and German case. *Renewable*

- Energy**, v. 68, p. 733-744, 2014.
- CHANDEL, S.; NAIK, M.; CHANDEL, R. Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1084–1099, 2015.
- CHINA. National Energy Administration. **China's Energy Conditions and Policies**. Beijing: NDRC, p. 46, 2018.
- CLOSAS, A.; RAP, E. Solar-based groundwater pumping for irrigation: Sustainability, policies, and limitations. **Energy Policy**, v. 104, p. 33–37, 2017.
- DINÇER, F. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 713-720, 2010.
- EL-SHIMY, M. Sizing optimisation of stand-alone photovoltaic generators for irrigation water pumping systems. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 32, n. 5, p. 333–350, 2013.
- FERREIRA, W. et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 1, p. 628-642, 2015.
- GAO, Z. et al. Progress on Solar Photovoltaic Pumping Irrigation Technology. **Irrigation and Drainage**, v. 67, n. 1, p. 89–96, 2018.
- HOQUE, N.; ROY, A.; BEG, M. Techno-Economic Evaluation of Solar Irrigation Plants Installed in Bangladesh. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 5, n. 1, p. 73–78, 2016.
- HRAYSHAT, E. S.; AL-SOUD, M. S. Potential of solar energy development for water pumping in Jordan. **Renewable Energy**, v. 29, n. 8, p. 1393–1399, 2004.
- ISHII, A.; HASEGAWA, M. Solar-Pumping Upconversion of Interfacial Coordination Nanoparticles. **Scientific Reports**, v. 7, n. January, p. 1–7, 2017.
- JURASZ, J. et al. Integrating a wind- and solar-powered hybrid to the power system by coupling it with a hydroelectric power station with pumping installation. **Energy**, v. 144, p. 549–563, 2018.
- MAHJOUBI, A. et al. Techno-economic analysis and modelling of a remote photovoltaic water pumping system in the desert of Tunisia. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 32, n. 5, p. 434–448, 2013.
- MAZOUZ, N.; MIDOUN, A. Control of a DC/DC converter by fuzzy controller for a solar pumping system. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 33, n. 10, p. 1623–1630, 2011.
- MWANZA, M. et al. The Potential of Solar Energy for Sustainable Water Resource Development and Averting National Social Burden in Rural Areas of Zambia. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, v. 5, n. 1, p. 4–6, 2016.
- RAHRAH, K. et al. Photovoltaic pumping system in Bejaia climate with battery storage. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 39, p. 13665–13675, 2015.
- RANJAN, P.; GOVIND, R.; POUL, A. A comparison of diesel, bio diesel and solar PV - based water pumping systems in the context of rural Nepal. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 33, n. 3, p. 536–53, 2014.
- SÁNCHEZ, J.; ORTÍZ, E.; BERNAT, J. Solar water pumping system for water mining environmental control in a slate mine of Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, n. 1, p. 501–504, 2015.
- SCHUMAN, S.; LIN, A. China's Renewable Energy Law and its impact on renewable power in China: Progress, challenges and recommendations for improving implementation. **Energy Policy**, v. 51, p. 89–109, 2012.
- SENOL, R. An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. **Energy Policy**, v. 47, p. 478–486, 2012.
- SILVA FILHO, J. et al. Impactos ambientais causados por energia solar fotovoltaica no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 22757-22762, 2019.
- SONTAKE, V. C.; KALAMKAR, V. R. Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 1038–1067, 2016.
- TAFARTE, P.; EICHHORN, M.; THRÄN, D. Capacity Expansion Pathways for a Wind and Solar Based Power Supply and the Impact of Advanced Technology—A Case Study for Germany. **Energies**, v. 2, p. 23, 2019.
- TIWARI, A. K.; KALAMKAR, V. R. Effects of total head and solar radiation on the performance of solar water pumping system. **Renewable Energy**, v. 118, p. 919–927, 2018.
- TÜV, Rheinland. **Review and Gap Analyses of Technical Assumptions in PV Electricity Cost**. Report on Current Practices in How Technical Assumptions Are Accounted in PV Investment Cost Calculation. Cologne. v.3, p. 103, 2016.
- ZHANG, L. et al. Water users associations and irrigation water productivity in northern China. **Ecological Economics Journal**, v. 95, p. 128–177, 2013.
- WILLEKE, G.; RÄUBER, A. On the History of Terrestrial PV Development: With a Focus on Germany. **Advances in Photovoltaics**, v. 1, p. 7–48, 2012.

VI. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES), através do Programa de Demanda Social. O mais sincero agradecimento a todo o corpo de funcionários e professores da Pós-Graduação da UNESP.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0

INDUSTRY TECHNOLOGIES 4.0

DANIEL FRANZ REICH MAGALHÃES¹; DOUGLAS CERQUEIRA GONÇALVES²

1 – PROF. ESP. INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – IFES; 2 – PROF. DR. PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO – FACULDADE VALE DO CRICARÉ – FVC

danielfrmagalhaes@gmail.com; douglascerqueiragoncalves@gmail.com

Resumo – *O crescimento e a manutenção das empresas em um mercado global competitivo torna a busca por conhecimento e inovação tecnológica algo contínuo na atualidade. Temas como Indústria 4.0 já fazem parte do cotidiano de empresas, especialmente quando se fala daquelas que buscam gestão de excelência na produção de bens ou serviços. Sendo assim, este artigo apresentará uma breve revisão bibliográfica sobre o tema mencionado objetivando fornecer uma visão geral do assunto.*

Palavras-chave: Indústria 4.0. Gestão. Tecnologia.

Abstract - *The growth and maintenance of companies in a competitive global market makes the search for knowledge and technological innovation something continuous today. Themes such as Industry 4.0 are already part of the daily lives of companies, especially when it comes to those that seek excellence management in the production of goods or services. Therefore, this article will present a brief bibliographic review on the mentioned subject in order to provide an overview of the subject.*

Keywords: Industry 4.0. Management. Technology.

I. INTRODUÇÃO

Na Engenharia de Desenvolvimento, a inovação é elemento essencial de sobrevivência a médio e longo prazo das organizações, devendo então ser administrada e disseminada na organização por estratégias, estrutura, processos e cultura organizacionais bem definidos (EPSTEIN; DAVILA; SHELTON, 2007). A inovação pode ser definida como uma ideia que modele um produto ou um processo que resulte em algo novo ou diferente do que já existe (KEELEY; PIKKEL; QUINN, 2015).

Um grande exemplo de inovação é a Indústria 4.0, que introduz uma grande transformação na cadeia produtiva mundial e transforma as relações trabalhistas (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). A Indústria 4.0 pode ser considerada também uma estratégia de integração da manufatura produtiva com a internet, comunicando de forma mais ágil pessoas e sistemas de produção (ANDERL, 2015).

Este artigo apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre o tema Indústria 4.0 e suas tecnologias.

II. METODOLOGIA

O modelo de pesquisa bibliográfica faz com que o pesquisador entre em contato direto com o tema de pesquisa,

auxiliando-o na análise e/ou na manipulação das informações (MARCONI; LAKATOS, 2005). Esta pesquisa bibliográfica traz um pequeno levantamento sobre as tecnologias da Indústria 4.0.

III. REVISÃO DE LITERATURA

Indústria 4.0

As revoluções industriais foram marcadas, em distintas épocas, por grandes progressos em inovação tecnológica disruptiva, que remodelaram os processos produtivos, como exemplos têm-se a introdução da máquina a vapor em fins do século XVIII (Revolução 1.0), com o sistema de produção em massa fordista no início do século XX (Revolução 2.0) e com a automação e sistema de produção toyotista no pós 2º guerra mundial até meados dos anos 1970 e 1980 (Revolução 3.0) e agora com a Revolução 4.0 dos anos 1990, 2000 até a atualidade (FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018). A figura 1 representa as quatro revoluções industriais.

Figura 1: As revoluções industriais



Fonte: Firmino (2020) adaptado pelo autor

A Indústria 4.0 modifica não somente os sistemas produtivos, mas também todas as relações entre a sociedade e empresas em geral. Conhecida também como a revolução da internet, esse conjunto de tecnologias está transformando a integração entre máquinas, logística e suprimentos (FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018).

A Indústria 4.0 surgiu para transformar as interações entre a sociedade e a indústria, a partir de tecnologias inovadoras de controle interligadas pela internet. A Revolução 4.0 pode ser definida também como uma integração de sistemas avançados controlados via tecnologias com uso de internet, fornecendo fácil interoperabilidade entre humanos, produtos e sistemas

(FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018). A Revolução 4.0 surgiu na Alemanha, que buscava aumentar a competitividade a partir do aumento de investimentos em inovação, a fim de promover então um salto tecnológico (FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018).

A alta expertise alemã em P&D e como consequência produzindo novas tecnologias, tanto na área de manufatura como na área industrial de uma forma geral tornou o setor secundário produtivo alemão extremamente competitivo no mundo e faz da Alemanha uma das líderes globais em equipamentos manufaturados (FARIA et al., 2017).

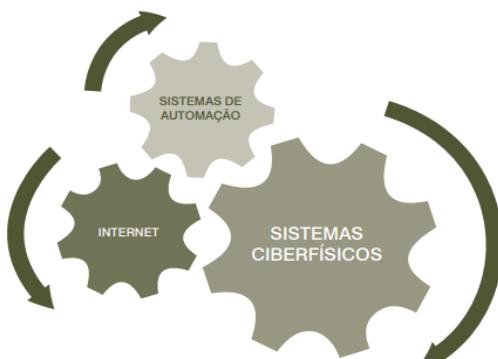
Com o advento da internet e de tecnologia de controle específicas denominadas sistemas ciber-físicos, haverá uma transformação profunda das organizações e também das relações trabalhistas e produtivas, além das relações com clientes e fornecedores e sociedade de uma forma geral (SCHWAB, 2018).

Desde a Revolução 2.0, a indústria procura criar formas de proporcionar maior eficiência no setor produtivo e como desenvolvimento da automação isso se tornou possível e real. A necessidade dos clientes aumentou e tornou-se mais seletiva exigindo desenvolvimento personalizado de produtos pelas empresas e forçando as corporações a se adaptarem às novas demandas para se manterem competitivas (SCHWAB, 2018).

Segundo Faria et al. (2017), os sistemas produtivos se tornarão altamente flexíveis devido a uma produção mais individualizada. A cadeia de suprimentos deverá possuir configurações, tempos e rotas flexíveis. Os níveis de estoque e o *setup* de processo deverão continuar baixos para que os processos continuem ágeis (FARIA et al., 2017).

Segundo Reinhart et al. (2013), sistemas de produção ciber-físicos são integrados na área produtiva, criando as chamadas fábricas inteligentes (*smart factories*). A integração desses sistemas à produção aumentará a produtividade e a satisfação dos clientes (FARIA et al., 2017). A figura 2 ilustra a integração dessas tecnologias o que constitui a própria Indústria 4.0 (SEBRAE, 2017).

Figura 2: Integração na Indústria 4.0



Fonte: Sebrae (2017) adaptado pelo autor

Os constantes *upgrades* tecnológicos e aplicação de recursos financeiros em inovação têm abreviado o tempo de lançamento de novos produtos ou serviços. Com maior rapidez na inserção de novidade no mercado, as empresas passam a disputar melhores posições no mercado (FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018). A figura 3 ilustra as etapas da cadeia de valor desde o P&D até o pós-venda, sendo que a

quarta revolução irá impactar todo o processo (SEBRAE, 2017).

Figura 3: Integração da cadeia de valor de um produto



Fonte: Sebrae (2017) adaptado pelo autor

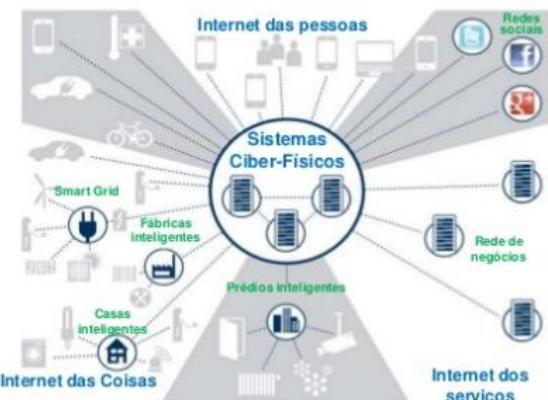
A modificação da estrutura dos modelos organizacionais produtivos também é possível com o uso das tecnologias 4.0. A redução do ciclo de desenvolvimento de produtos exige uma gestão mais ágil, exigindo redução da burocracia e modificação da estrutura hierárquica (LASI et al., 2014). Apesar da necessidade de mudança, a maioria das indústrias atuais ainda possui arquitetura centralizada e são bastante hierárquicas (FORSTNER; DUMMLER, 2014).

No sistema industrial tradicional, o modelo organizacional é visto como uma pirâmide dividida em três setores, que são o operacional (base), tático (meio) e estratégico (topo) (SCHWAB, 2018). A comunicação entre os setores se dá de tal forma que atualmente é vista como um processo ultrapassado (SCHWAB, 2018). Com o advento das tecnologias da Indústria 4.0, haverá um rearranjo organizacional, descentralizando o modelo de gestão, fazendo o intercâmbio direto entre os *stakeholders* e o sistema produtivo, trocando informações de forma independente através da Internet das Coisas (FARIA et al., 2017; SCHWAB, 2018).

Cyber Physical Systems (CPS)

Sistemas ciber-físicos são sistemas baseados em tecnologia computacional embarcada, responsáveis por monitorar e controlar quaisquer processos físicos, sendo que estes enviam e recebem informações aos computadores (BAGHERI et al., 2015; STOYANOV; GLUSHKOVA; DOYCDEV, 2020). A figura 4 exemplifica a integração dos sistemas ciber-físicos com a internet das coisas e demais sistemas.

Figura 4: Sistemas ciber-físicos e integração com demais sistemas



Fonte: Lepikson (2020) adaptado pelo autor

Os sistemas produtivos ciber-físicos são compostos por máquinas inteligentes, centros de produção e armazenamento de informações digitais, integrando logística, suprimentos, marketing, produção e serviços em

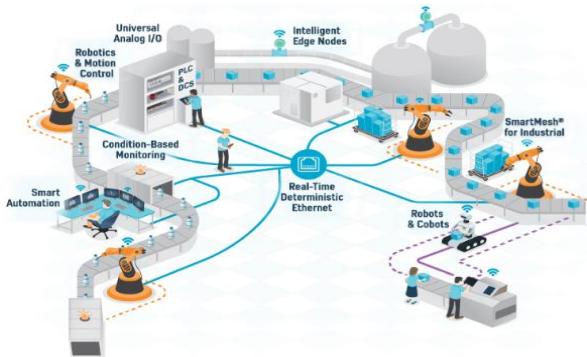
geral (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; STOYANOV; GLUSHKOVA; DOYCHEV, 2020). Isso proporciona maior flexibilidade na produção e também oferece informações para uma gestão de processos mais eficiente (FARIA et al., 2017).

Fábricas Inteligentes (*Smart Factories*)

Segundo Kagermann; Wahlster; Helbig (2013), as fábricas inteligentes possibilitam a interação entre os recursos produtivos, a máquina e o ser humano. Nestas fábricas, os produtos são dotados de inteligência e sabem minuciosamente como foram produzidos e quais deverão ser seus destinos e, desta forma, os produtos controlam a sua própria produção de forma totalmente autônoma (YÁÑEZ, 2017). A manufatura passa a ser extremamente flexível e capaz de se autoconfigurar de acordo com a produção (FARIA et al., 2017; YÁÑEZ, 2017).

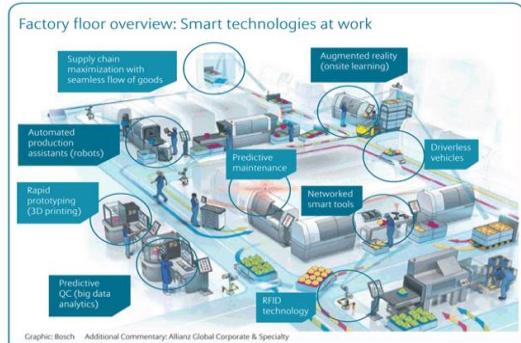
De acordo com Anderl (2015), a *smart factory* é flexível e adaptada aos processos produtivos. Essa fábrica inteligente utiliza automação, combinando *softwares*, *hardwares* ou mecanismos que aperfeiçoam a manufatura, promovendo maior eficiência da produção e otimização dos recursos (YÁÑEZ, 2017). A *smart factory* basicamente possui sensores e sistemas inteligentes que monitoram e controlam todo o processo industrial de forma autônoma e eficiente (YÁÑEZ, 2017). As figuras 5 e 6 ilustram fábricas inteligentes.

Figura 5: Fábrica inteligente com integração entre CPS e IoT



Fonte: Analog Devices (2018) adaptado pelo autor

Figura 6: Fábrica inteligente e tecnologias integradas



Fonte: Insurance Gateway (2016) adaptado pelo autor

Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*)

Internet das Coisas promove a comunicação entre produtos da linha de produção e dispositivos através de diferentes tecnologias. A IoT é utilizada tanto no meio industrial como também no cotidiano social (WORTMANN; FLUECHTER, 2015). Como exemplo de

tecnologia IoT já pode-se citar estabelecimentos de entretenimento que utilizam uma pulseira com *chips* de identificação por radiofrequência (RFID) que funcionam como ticket e que também possibilitam a compra de produtos, conectando clientes com uma central de dados, que recebe todas as informações dos usuários (WORTMANN; FLUECHTER, 2015). Nas indústrias, produtos já recebem identificações (*tag*) com tecnologia RFID, capazes de informar a um *software* de gestão de produção suas especificações e processamentos pelos quais já passou ou irá passar (LEE; LEE, 2015; WORTMANN; FLUECHTER, 2015).

Segundo Lee e Lee (2015), a tecnologia RFID é composta basicamente de ondas de rádio, uma *tag* e um leitor. Essa tecnologia possibilita então a identificação e captação de dados. As *tags* geralmente são utilizadas em *supply chains*, em monitoramento e rastreamento de objetos, em sensores de temperatura, pressão, de processos químicos e outras (LEE; LEE, 2015). As figuras 7 e 8 mostram a tecnologia RFID.

Figura 7: Tecnologia RFID e sua integração

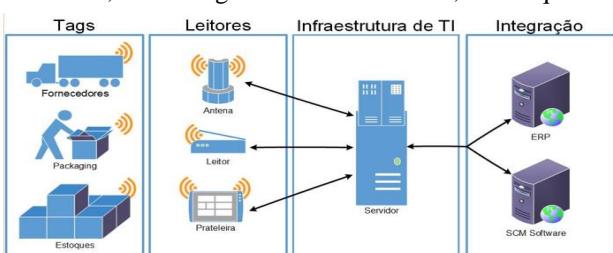


Fonte: Costa (2016) adaptado pelo autor

Figura 8: Tecnologia RFID na indústria

Fonte: Haddad; Rizzotto; Uriona (2016) adaptado pelo autor

Outra tecnologia utilizada pela IoT é a *Wireless Sensor Networks* (WSN), formada por uma rede sem fio de sensores, com um grande número de nós, sendo que cada nó



é capaz de detectar uma variável física, tais como luz, temperatura, pressão e calor, entre outras variáveis (FARIA et al., 2017). A utilização da tecnologia WSN irá aumentar a eficiência e robustez dos sistemas, sendo considerada uma tecnologia inovadora na captação de informações de campo (FARIA et al., 2017).

A tecnologia WSN é extremamente vantajosa por não possuir fios, o que a torna uma solução extremamente flexível. Além disso, redes de sensores sem fio são de simples implementação (FARIA et al., 2017). A rede de sensores sem fio (WSN) apresenta diferentes aplicações, podendo ser utilizada para medir temperatura de produtos perecíveis que estão em transporte e ser monitorada ao longo da cadeia logística, pode também, por exemplo, ser

usada em sistemas de rastreamento de mercadorias ou veículos e também em manutenção preditiva e/ou centrada em confiabilidade de máquinas e equipamentos (FARIA et al., 2017). As figuras 9 e 10 mostram aplicações da tecnologia WSN.

Figura 9: Tecnologia WSN na indústria



Fonte: National Instruments (2020) adaptado pelo autor

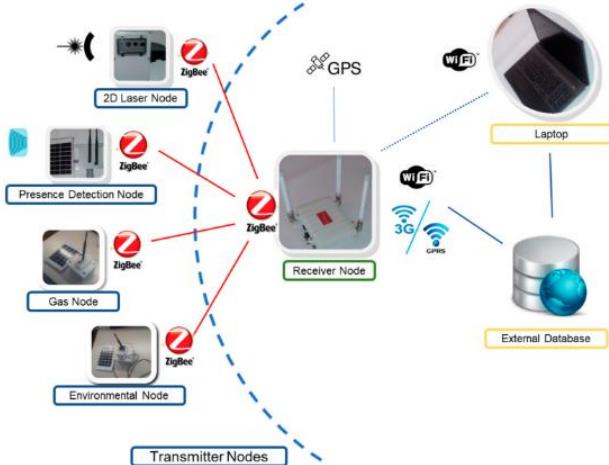
Figura 10: Tecnologia WSN em geral



Fonte: Zigbee (2008) adaptado pelo autor

Na figura 11 observa-se a integração de diversos protocolos sem fio.

Figura 11: Tecnologias sem fio integradas



Fonte: Lozano et al. (2019) adaptado pelo autor

IV. CONCLUSÃO

A inovação tem se mostrado um elemento primordial para sustentação da vantagem competitiva das empresas. Sob este aspecto, saber gerir o processo de inovação se torna um grande diferencial no que tange uma gestão moderna e de alto desempenho (OLIVEIRA; PROENCA; MANSUR, 2017).

O processo de desenvolvimento de produtos tem se tornado cada vez mais desafiador, com necessidade de inovação, com busca e aquisição de novos conhecimentos e tecnologias sendo, portanto, um setor vital, responsável pelo sucesso ou fracasso das organizações na atualidade (DAHLANDER; GANN, 2010).

De acordo com Schwab (2018), a Indústria 4.0 é um exemplo de inovação, sendo resultado do aumento de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em empresas e universidades.

De um modo geral, pode-se afirmar que as tecnologias da Indústria 4.0 farão parte de mudanças de diversas organizações, através da implementação de novos processos ou produtos, que garantirão competitividade às empresas e sua sobrevivência no mercado.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALOG DEVICES. Accelerating the Path to Industry 4.0, 2018. Disponível em: <<https://www.analog.com/en/applications/markets/industrial-automation-technology-pavilion-home/industry-4-pt-0.html>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

ANDERL, R. Industrie 4.0 – technological approaches, use cases, and implementation. **Automatisierungstechnik**, p. 1-2, 2015.

BAGHERI, B.; YANG, S.; KAO, H.A.; LEE, J. Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment. International Federation of Automatic Control, **IFAC-PapersOnLine**, v.48, n.3, p.1622-1627, 2015.

COSTA, L.H. **RFID**, 2016. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1_2/RFID/RFID/html/funcionamento.html>. Acesso em: 10 ago. 2020.

DAHLANDER, L.; GANN, D.M. How open is innovation? **Research Policy Elsevier**, v.39, p.699-709, 2010.

EPSTEIN, M.J.; DAVILA, T.; SHELTON, R.D. **As Regras da Inovação:** como gerenciar, como medir e como lucrar. São Paulo: Pearson Education, 2007.

FARIA, L.B.C.; ANDRADE, E.P.; AMARAL, S.F.; LIMA, M.A.C.; ASSIS, W.S. Indústria 4.0: como conciliar avanço tecnológico e capacitação de pessoas? **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017.

FIRMO, A. **5G e a Indústria 4.0**, 2020. Disponível em: <<https://medium.com/embedded-ufcg/5g-e-a-ind%C3%A3stria-4-0-2601ddeb27c9>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FORSTNER, L.; DUMMLER, M. Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0. **Elektrotechnik & Informationstechnik**, 2014.

HADDAD, C.R.; RIZZOTTO, F.H.; URIONA, M. Revisão Estruturada da Literatura sobre RFID e suas Aplicações na Cadeia de Suprimentos. **Revista Espacios**, v.37, n.8, p.19, 2016. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a16v37n08/16370820.html>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

- INSURANCE GATEWAY. Smart factories and the future of risk.**, 2016. Disponível em: <<https://www.insurancegateway.co.za/ShorttermConsumers/PressRoom/ViewPress/Irn=13103&URL=Smart+factories+and+the+future+of+risk#.XzNPD8BKjIV>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.** Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. **Final report of the Industrie 4.0 Working Group**, 2013.
- KEELEY, L.; PIKKEL, R.; QUINN, B.** **Dez Tipos de Inovação**. DVS Editora, 1^a ed, 2015.
- LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.G.; FELD, T.; HOFFMANN, M.** Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, 2014. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>>.
- LEE, I.; LEE, K.** The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, 2015.
- LEPIKSON, H.** **Tendências: Tecnologia e Automação. Instituto SENAI de Inovação**, 2020. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/labbrasil/tendncias-tecnologia-e-automao>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- LOZANO, J.J.; BERTIZ, C.A.; RUIZ, J.A.; CEREZO, A.G.** Integration of a Mobile Node into a Hybrid Wireless Sensor Network for Urban Environments. **Sensors**, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.3390/s19010215>>.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M.** **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- NATIONAL INSTRUMENTS.** **Guia para Seleção de Dispositivos de Medição Sem Fio**, 2020. Disponível em: <<https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/10/wireless-measurement-device-selection-guide.html>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- OLIVEIRA, A.R.; PROENCA, A.P.; MANSUR, H.** Uma proposta de orientações projetuais para concepção de sistemas de medição de desempenho para gestão da pesquisa e desenvolvimento. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Joinville, SC, de 10 a 13 de outubro de 2017.
- REINHART, G.; SCHOLZ-REITER, B.; WAHLSTER, W.; WITTENSTEIN, M.; ZÜHLKE, D.** Cyber-Physische Produktionssysteme - Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. **Werkstattstechnik Jahrgang**, 2013.
- SEBRAE.** **O Que É uma Startup?**, 2017. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- SCHWAB, K.** **A Quarta Revolução Industrial**. Edipro, 1^o ed., 2018.
- STOYANOV, S.; GLUSHKOVA, T.; DOYCDEV, E.** **Sistemas e Aplicações Ciber-Físicos-Sociais**. Novas Edições Acadêmicas, 2020.
- YÁÑEZ, F.** **The 20 Key Technologies of Industry 4.0 and Smart Factories: The Road to the Digital Factory of the Future**, 2017.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

UMA REVISÃO DAS TÉCNICAS MAIS ATUAIS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO CONTROLE DE INVERSORES SOLARES

A REVIEW OF THE MOST RECENT ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES APPLIED TO SOLAR INVERTERS CONTROL

Ribeiro, André L. Z.¹; Souza, Teófilo M.²

1 – UNESP campus Guaratinguetá; 2 - UNESP campus Guaratinguetá

alz.ribeiro@unesp.br; teofilo.souza@unesp.br

Resumo – O presente trabalho consiste em uma revisão das técnicas de controle com base em inteligência artificial que vêm sendo estudadas e aplicadas a inversores solares. A estrutura do trabalho consiste em uma pesquisa baseada em livros e artigos publicados a partir de 2015, identificando limitações e oportunidades de avanços em sistemas fotovoltaicos, e as metodologias de inteligência artificial que foram empregadas para a solução dos problemas.

Palavras-chave: inteligência artificial, inversores solares, sistemas fotovoltaicos

Abstract – This paper consists of a revision of the artificial intelligence control techniques that are being studied and applied to solar inverters. The structure of this reviews consists on a research based on books and recent papers published since 2015, identifying limitations and improvement opportunities on solar systems control, and the artificial intelligence methodologies use to solve the problems.

Keywords: artificial intelligence, solar inverters, photovoltaic systems.

I. INTRODUÇÃO

Na atualidade o desenvolvimento sustentável é uma demanda mundial onde as questões ambientais e econômicas estão cada vez mais associadas. A busca por novas fontes de energia renovável com redução de emissões de CO₂, incentivou e incentiva o estudo de alternativas como a energia eólica, solar, geotérmica, entre outras, de forma a reduzir a dependência e o uso de combustíveis fósseis.

Em termos de eficiência energética, a introdução de energias renováveis na composição da matriz energética representa uma economia em combustíveis fósseis como carvão, diesel e gás, além de proporcionar uma economia no consumo residencial. Entretanto esses sistemas precisam ser economicamente viáveis, ou seja, desde o custo de instalação e operação até a eficiência na conversão de energia precisam ser mais atrativos que o das fósseis e do custo da energia de forma a justificar a sua utilização em termos financeiros.

Nesse cenário, ainda que sua eficiência na conversão seja no máximo de 25% (ANEEL,2000) e seu custo de

instalação ainda relativamente alto, a energia solar tem um grande potencial a ser explorado. No caso de geração elétrica, ela pode ser feita através de termoelétricas utilizando concentradores solares ou da conversão direta através de painéis fotovoltaicos. Os painéis podem ser instalados em usinas de geração, na geração distribuída proveniente de instalações comerciais e residenciais, na iluminação pública, e em aplicações isoladas como o bombeamento de água para aplicações rurais, por exemplo. Segundo a ANEEL (2019), em 2019 o Brasil atingiu cerca de 870 megawatts (MW) de potência instalada proveniente de energia solar.

Os elementos básicos de um sistema solar são os painéis fotovoltaicos, que captam a irradiação solar e a convertem em eletricidade através de células fotovoltaicas gerando uma tensão contínua, baterias, um conversor CC-CC e em muitos casos um inversor solar, que irá converter essa tensão em alternada para a conexão com a rede de distribuição ou a alimentação de uma carga CA. O inversor, juntamente com a tecnologia das células fotovoltaicas, é um componente fundamental para o melhor aproveitamento dessa energia e a eficiência do sistema de geração, portanto é extremamente importante dimensioná-lo apropriadamente mas também o seu sistema de controle deve ser capaz de abranger e tratar todas as variáveis que influenciam esse sistema (PRECUP, KAMAL e HASSAN, 2019)

Para se atingir a máxima eficiência do sistema, o projeto do controle de um inversor não é uma tarefa simples, pois esse depende de múltiplos fatores. Especificamente no caso da energia fotovoltaica, fatores como irradiação solar, temperatura de operação, quantidade de painéis influenciam o seu desempenho, bem como a variação de carga no caso de sistemas de geração isolados, conectados à rede ou até mesmo no acionamento de uma carga variável.

Controles convencionais possuem limitações devido à não linearidade do sistema e da imprevisibilidade de variáveis a serem levadas em conta, o que torna sua modelagem complexa. É devido a essas dificuldades que a

utilização de metodologias envolvendo inteligência artificial vêm sendo cada vez mais exploradas já que elas são capazes de lidar com essas não linearidades e incertezas de maneira mais simples e eficazes. Entre elas estão sistemas *fuzzy*, redes neurais artificiais, *deep learning* e ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*).

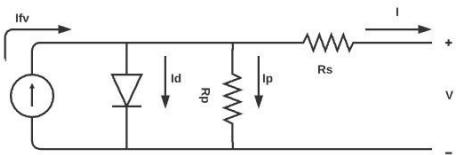
II. METODOLOGIA

A metodologia aplicada consiste no levantamento e revisão de bibliografia relevante através das plataformas de periódicos da CAPES, Scopus, Springer links, *Google Scholar*, *Sience Direct* e *IEEE Xplore*, sobre o tema e com o foco em artigos baseados em trabalhos e análises a partir de 2015, possibilitando assim, descrever os sistemas solares e identificar os problemas e suas soluções.

III. RESULTADOS

Os painéis solares são responsáveis pela conversão da irradiação solar em energia elétrica. As unidades básicas que compõem um painel fotovoltaico são as células fotovoltaicas. Elas são componentes semicondutores com conexões p-n conectadas em série ou paralelo dependendo da especificação desejada. Quando essas recebem a irradiação solar uma tensão contínua é gerada nos seus terminais. A figura 1 mostra o circuito equivalente de uma célula solar.

Figura 1 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (ELGHARBI *et. al.*, 2019)



Idealmente pode-se imaginar que todas essas células em um painel, recebem uma quantidade constante de irradiação solar ao mesmo tempo e trabalham na mesma temperatura. Na prática isso não ocorre devido a fatores como oscilações climáticas ao longo de um dia e das estações do ano, devido a sombras causadas por nuvens em parte dos painéis, diferenças decorrentes da tolerância de fabricação e taxas de degradação diferentes entre células e painéis (POPOVIC e RADOVANOVIC, 2018). Essas são oscilações intrínsecas de sistemas de geração fotovoltaica e independem da carga pois se referem a condições externas e aos próprios painéis afetando a potência entregue por eles. Avaliando agora o sistema operando isolado alimentando uma carga variável ou conectado à rede de distribuição, a frequência e os níveis de tensão devem atender os parâmetros necessários da carga ou rede, mantendo, nesta segunda principalmente, a geração de harmônicos dentro dos limites estabelecidos por norma (VILLALVA e GAZOLI, 2018). Essas são outras variáveis que dependem da carga e introduzem oscilações no sistema, precisando, portanto, ser equacionadas.

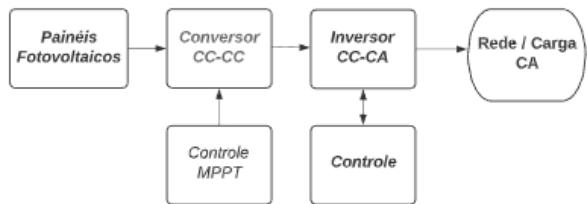
No caso de uma geração isolada alimentando um pequeno vilarejo, por exemplo, o sistema não terá a referência de tensão e frequência da rede, portanto o seu controle se torna uma tarefa mais complexa pois tem que lidar com cargas possivelmente não modeladas e realizar o ajuste em tempo real (BADAL *et al.*, 2019). Por outro lado,

um sistema de geração fotovoltaica conectado à rede deve não só manter os parâmetros de tensão e frequência constantes, mas também lidar com as potências reativas do sistema, reduzir ao máximo a geração de harmônicos e principalmente ter uma previsibilidade quanto a potência gerada para evitar instabilidades na rede (BADAL *et. al.*, 2019).

Existem diferentes configurações para um sistema fotovoltaico como descritas por Sumanthi, Kumar e Surekha (pp. 66 a 70, 2015). As aplicações típicas para sistemas autônomos possuem baterias, porém existem sistemas que não necessitam de sua utilização (VILLALVA e GAZOLI, 2018). A seguir tem-se uma descrição de algumas configurações:

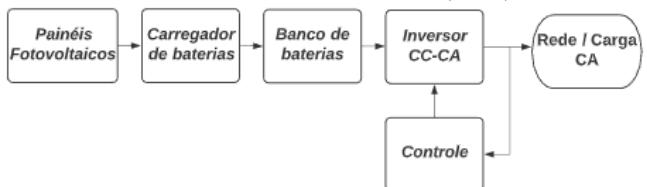
- Sistemas interligados à rede de distribuição. Esses sistemas normalmente serão compostos dos painéis fotovoltaicos, um conversor CC-CC de elevação para o tratamento da tensão contínua que em alguns casos incorporam algoritmos para a definição do ponto de máxima potência ou em inglês *maximum power point* (MPP) e um inversor CC-CA para possibilitar a conexão na rede. Um sistema de baterias pode ser instalado ou não, no exemplo da figura 2 não existe banco de baterias.

Figura 2 – Sistema fotovoltaico alimentando uma carga adaptado de Sumanthi, Kumar e Surekha (2015).



- Sistemas autônomos ou isolados que vão alimentar uma carga CC ou CA e normalmente possuem baterias. No caso da alimentação de uma carga CC, não há necessidade do inversor e o conversor pode incluir um algoritmo para MPPT (*maximum power point tracking*) ou não. Quando o sistema possui baterias, um carregador será utilizado e sua configuração dependerá da tensão e potência desejadas. A figura 3 ilustra um sistema com bateria.

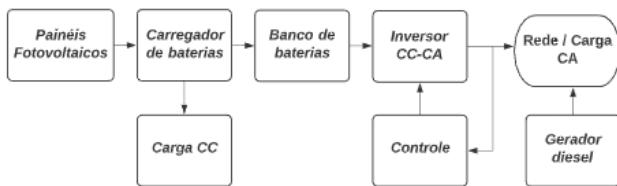
Figura 3 – Sistema solar utilizando baterias adaptado de Sumanthi, Kumar e Surekha (2015).



- Sistemas híbridos onde a geração fotovoltaica trabalha em conjunto com uma outra fonte geradora como um gerador diesel, por exemplo. Esses sistemas normalmente contêm baterias de forma a compensar as oscilações da geração solar, bem como alimentar cargas CC ou CA, e possuem ainda uma conexão com a rede. Nesse Sistema existirão

conversores e inversores de diferentes tipos como na figura 4. como na figura 4.

Figura 4 – Sistema de geração híbrido adaptado de Sumanthi, Kumar e Eureca (2015).



Como a eficiência dos painéis solares é baixa, espera-se que a eficiência da conversão dos equipamentos utilizados nesse sistema seja por volta de 98% para os conversores utilizando algoritmos de MPPT (METRY *et al.*, 2017). Isso depende, portanto, da correta especificação dos equipamentos e eficiência dos controles para cada aplicação.

Além dessas aplicações apresentadas, os sistemas podem ser projetados com diferentes topologias dependendo da aplicação com vantagens e desvantagens em cada uma. Essas topologias incluem a utilização de conjuntos de painéis conectados em paralelo a um inversor central, a instalação de conversores CC-CC em cada conjunto de placas e então conectá-los a um inversor central, a conexão de inversores para cada conjunto de painéis que então se conectam à rede e podemos ter também os micro inversores conectados a cada conjunto de painéis que vão se conectar diretamente à rede (SUMANTHI, KUMAR e SUREKHA, 2015). A definição da melhor topologia para cada aplicação pode reduzir os custos da instalação reduzindo o número de painéis, por exemplo, e entregando mais energia com melhor qualidade.

3.1 - Inteligência artificial aplicada ao controle de sistemas fotovoltaicos

Técnicas de inteligência artificial vêm sendo estudadas há décadas, um exemplo é a lógica difusa ou fuzzy que data da década de 60. Ao longo do tempo essas técnicas vêm sendo aperfeiçoadas e empregadas em novas aplicações.

Quando se fala em inteligência artificial é preciso entender os diferentes conceitos. Como exposto por Serfa Juan e Kim (2019), inteligência artificial é um termo mais abrangente que define qualquer técnica empregada de forma a reproduzir o funcionamento do cérebro humano como por exemplo, lógica fuzzy, redes neurais artificiais, algoritmos genéticos etc. Cada uma dessas técnicas possui modelagens próprias que se adaptam melhor a diferentes tipos de problemas. No caso de sistemas fotovoltaicos elas são aplicadas na previsão meteorológica, previsão de carga em redes de distribuição, determinação de falhas em painéis solares, definição do ponto de máxima potência e controle do inversor.

A seguir algumas técnicas mais estudadas serão descritas tanto para a definição de MPPT como para o

controle do inversor. Em Hannan *et al.* (2019) os autores fazem uma comparação das diferentes metodologias e uma extração é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos métodos de inteligência artificial adaptado de Hannan *et al.* (2019)

Tipo de controle	Vantagens	Desvantagens
Redes Neurais Artificiais	Eficiente; controle dinâmico ótimo	Computação online complexa e falta de precisão.
FLC	Simples e eficiente; não necessita de modelo matemático; controle <i>online</i> para sistemas lineares e não-lineares.	Controle complexo; processo de tentativa e erro.
Adaptive Fuzzy	Eficiente; mais simples que ANFIS.	Controle complexo e baixa performance em distúrbios.
ANFIS	Eficiente; boa performance em mudanças bruscas na entrada; mínima geração de harmônicos.	Enorme quantidade de dados necessária; para treinamento e aprendizado.

As técnicas de redes neurais artificiais, *machine learning* e *deep learning* são mais aplicadas a previsões meteorológicas, dimensionamento e gerenciamento do sistema e previsão de demanda. São informações importantes para um sistema fotovoltaico como um todo e sua operação em modo isolado ou conectado à rede, e influenciam na eficiência do sistema. Porém, quando se pesquisa controles dos inversores propriamente ditos, sua aplicação é restrita. As redes neurais artificiais possuem a vantagem de reconhecer padrões sem que seja necessário o modelamento matemático do sistema, isto é, com uma base de dados suficientemente abrangente, a rede pode determinar e prever as saídas associadas às entradas com base no treinamento e aprendizado (SERFA JUAN e KIM, 2019).

No caso da aplicação a um sistema solar, as entradas poderiam ser um conjunto de dados meteorológicos ao longo de um ano. Após o treinamento ser realizado a rede deverá aprender e ser capaz de prever o nível de irradiação em um determinado período, o que pode auxiliar na decisão de onde instalar ou quantidade de painéis a serem instalados, por exemplo. Uma vantagem desse tipo de aplicação é a possibilidade de se construir um sistema sem a necessidade de modelagem matemática, o que torna a tarefa mais simples. Por outro lado, uma desvantagem é o fato dela necessitar de um grande volume de dados e a configuração da rede em si ser feita com base em tentativa e erro.

A outra técnica mencionada são os controles fuzzy que podem ser baseados em regras ou paramétricos. O primeiro permite capturar de maneira mais fácil o

conhecimento dos especialistas pois as regras são definidas em forma de perguntas SE-ENTÃO que são de fácil interpretação. Já o segundo, combina as regras com aproximações lineares de segmentos do sistema controlado o que o torna mais preciso, porém menos simples de implementar. Cada uma possui suas vantagens e sua escolha depende do sistema a ser controlado.

Em ambos os casos, após as regras serem estabelecidas, definem-se as funções de transferência que vão indicar o grau de pertinência de uma dada saída do sistema. Não existe uma metodologia definida para a configuração, que se dá na tentativa e erro.

Para um controlador *fuzzy*, portanto, leem-se os valores do sistema através de sensores, fuzzifica-se esses valores que são submetidos à base de regras e funções de pertinência e na sequência são defuzzificados, ou seja, o controlador apresenta em sua saída valores discretos que vão realimentar o controle.

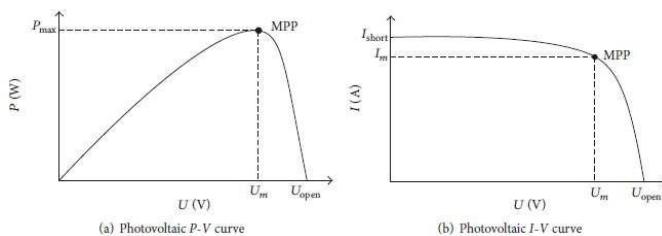
Os sistemas ANFIS, *adaptive neuro-fuzzy*, combinam a capacidade de aprendizado das RNA para a geração da base de regras do sistema com o controle *fuzzy* descrito anteriormente. Esse tipo de rede é robusta ao passo que é menos sensível a ruídos e consegue extrair um conjunto de regras a partir de dados numéricos (BELHACHAT e LARBES, 2017). Esses dados são utilizados para o treinamento e aprendizagem da rede que poderá prever situações e efetuar as devidas correções.

3.2 - Algoritmos para determinação do ponto de máxima potência

Para o melhor aproveitamento da energia gerada é importante que seja determinado o ponto de máxima potência, ou em inglês *maximum power point* (MPP) para que o sistema opere sempre com a máxima eficiência em qualquer condição de irradiação solar ou condição do painel fotovoltaico.

A Figura 5 mostra as características das curvas I-V e P-V de um painel fotovoltaico e o MPP para um determinado nível de irradiação solar.

Figura 5 – Exemplo de Curvas I-V e P-V (ZHENG, ZHANG e XUE, 2018)



Uma das técnicas mais utilizadas para tanto é a chamada P&O (*perturb and observe*) que consiste basicamente em introduzir uma perturbação na tensão de saída dos painéis fotovoltaicos. A potência então é calculada com base nessa nova tensão e corrente, e então o sistema verifica se houve um ganho na potência gerada ou uma perda, indicando a aproximação ou afastamento

do ponto de máxima potência. Outro método muito utilizado é o chamado condutância incremental, onde se obtém a derivada da potência em relação à tensão e dependendo do sinal, positivo ou negativo, o ajuste da tensão será feito na direção do ponto máximo (PRECUP, KAMAL e HASSAN, 2019).

Apesar dessas técnicas serem largamente utilizadas, elas possuem limitações pois suas respostas não são tão rápidas em relação às oscilações. Em busca de solucionar esses problemas, técnicas de controle com base em inteligência artificial vêm sendo aplicadas com maior eficiência de acordo com os estudos avaliados.

Os autores Precup, Kamal e Hassan (2019); Sakthiherani *et al.* (2018); Rai, Kurchania e Pawar (2019) e Zheng, Zhang e Xue (2018) sugerem o uso de controladores *fuzzy* para essa tarefa. Nesses estudos eles apresentam a modelagem do sistema e alternativas para a otimização dessa aplicação identificando uma maior robustez ao se utilizar esse tipo de controle. No caso de Sakthiherani *et al.* (2018) os autores tiveram como objetivo a redução de harmônicos gerados e utilizam o controle *fuzzy* para a definição no MPP. Eles ressaltam como pontos positivos o fato de o sistema ser robusto, de simples implementação e não necessitar conhecer o modelo exato do sistema. Já em Rai, Kurchania e Pawar (2019) os autores propõem o uso de um FLC (*fuzzy logic controller*) em conjunto com um conversor SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*), indicando a melhora na qualidade da energia na saída do inversor. O trabalho apresentado por Zheng, Zhang e Xue (2018) também sugere a aplicação de um controle *fuzzy* baseado no método tradicional de P&O indicando uma resposta mais rápida e abrangendo condições de operação que o sistema anterior não conseguia. No trabalho apresentado por Priya, Ambika, Haritha (2018) a aplicação é similar à de por Zheng, Zhang e Xue (2018) porém para um conversor ZETA.

Os trabalhos avaliados acima indicam a grande predileção no uso de controles *fuzzy*, isso se dá devido a esse tipo de controle já ter um largo emprego no mercado em diversas aplicações com resultados concretos. O que se observa através desses estudos é um ganho em performance em todas as aplicações propostas indicando um potencial de desenvolvimento.

Algumas propostas de aplicação de algoritmos baseados em ANFIS são feitas por Precup, Kamal e Hassan (p 209, 2018); Hamdi, Regaya e Zaafouri (2019) e Elgharbi *et al.* (2019). Essa metodologia, como descrito anteriormente, combina a capacidade de aprendizado das redes neurais artificiais com a capacidade de lidar com as não linearidades da lógica *fuzzy*. Ela auxilia na tarefa de definir as regras *fuzzy* a serem aplicadas que são extraídas de uma sólida base de dados, minimizando assim a dependência do conhecimento de um especialista.

Elgharbi *et al.* (2019) aplica a um sistema de bombeamento solar com bons resultados, concluindo que o sistema teve um grau de exatidão satisfatório e

evidenciando a robustez desse sistema. Essa aplicação a sistema de bombeamento também foi utilizada por Hamdi, Regaya e Zaafouri (2019). Apesar de serem estudos aplicados a uma carga, como o sistema necessita de uma tensão constante que foi entregue pelo gerador, a sua aplicação em um sistema conectado à rede, por exemplo, seria possível com resultados promissores.

3.3 - Algoritmos para o controle dos inversores

O controle clássico mais utilizado nesse tipo de inversor é o controle PI que não possui uma resposta rápida e adequada para grandes oscilações no sistema. Como as oscilações em um sistema fotovoltaico podem ser significativas, decorrentes da oscilação da entrada da tensão no inversor e da variação de cargas na saída, a utilização dos conversores CC-CC com o controle MPP atenuam essa oscilação na entrada. Porém, também se faz necessário um controle que possua uma resposta mais rápida de modo a atenuá-las quando as cargas variam.

Estudos como os de Rai, Kurchania e Paware (2019) e Zheng, Zhang e Xue (2018) se concentram na estabilização da entrada do inversor resultando com isso a melhoria na estabilidade da saída, nesses casos os métodos de controle dos inversores são os clássicos. Para aplicações envolvendo uma carga constante essa combinação pode ser suficiente, porém ao introduzir as variações de demanda o resultado pode não ser o ideal.

Os estudos de Sankar, Kumar e Rao (2018); Hannan et al. (2019) e Sidhartha, Muthubalaji e Devadas (2019), propõem controles *fuzzy* de maneiras diferentes. Sankar, Kumar e Rao (2018) aplicam metodologia *fuzzy* é utilizada para atualizar os ganhos do controlador PI dada uma perturbação numa aplicação em um inversor trifásico conectado à rede. No caso de Hannan et al. (2019) os autores propõem um inversor com o controle *fuzzy* para otimizar a geração de pulsos (PWM) e estabilizar a saída do inversor. Já Sidhartha, Muthubalaji e Devadas (2019) aplicam a um sistema alimentando uma carga e conectado à rede possui um banco de baterias para suprir a energia necessária em caso de ausência de irradiação solar. O controlador no caso é um *fuzzy* PI combinado com o algoritmo P&O como método de MPPT e a conclusão dos autores é de que esse sistema pode representar uma grande revolução para o mercado.

IV. DISCUSSÃO

Diversas configurações e metodologias são propostas para a solução de diferentes problemas nos estudos avaliados. O que se pode perceber em todos eles é que a aplicação de sistemas *fuzzy* são os mais explorados desde a aplicação em MPPT até a redução de harmônicos gerados pelo inversor. Essa metodologia tem um maior apelo por ser utilizada em diversas outras aplicações com resultados comprovados. No entanto, existem dificuldades na sua implementação como a definição das funções de pertinência e a base de regras tendo também a necessidade de profissionais especializados com um conhecimento maior do sistema.

A aplicação de ANFIS para a definição de MPPT também é bastante explorada nos estudos atuais. Esse tipo de técnica possui algumas vantagens em relação a *fuzzy*, porém dependem de um grande volume de dados sobre o sistema que nem sempre estão disponíveis.

Já as aplicações com base nas Redes Neurais Artificiais são mais comuns para detecção de falhas em painéis solares, previsão de carga e fatores meteorológicos e não no controle direto de inversores. Isso se dá pela natureza desta técnica que tem como ponto forte a identificação de padrões. Apesar disso vemos algumas aplicações de *deep learning*, que é uma técnica específica dentro do universo do aprendizado de máquinas, sendo utilizada para a definição do MPP com resultados satisfatórios.

Avaliando os sistemas propostos e as diversas configurações de sistema, hardwares para conversores e inversores com os respectivos sistemas de controle, pode-se perceber que cada método possui vantagens e desvantagens dependendo muito da aplicação. Como uma vantagem que se aplica a todas essas técnicas, tem-se o fato de o sistema conseguir lidar com as não linearidades e imprevisibilidade de maneira mais eficiente que os controles clássicos. Como uma desvantagem comum a todos esses sistemas, está o fato de que cada técnica de controle deve ser desenhada especificamente para cada aplicação, o que é normal para sistemas de controle, porém especificamente nesses casos, se baseiam em grande parte na tentativa e erro, tornando-a mais dependente de uma sólida base de dados e como o projetista trata esses dados.

Devido a essa inexistência de sistemas e metodologias generalistas, é necessária uma avaliação de cada caso (topologias, alimentação de uma carga, de uma casa, cidade etc.) levando-se em conta a criticidade da aplicação, disponibilidade de dados e precisão desejada, para se determinar a técnica que melhor se adapta. De qualquer forma, em todos os casos, as técnicas de inteligência artificial têm o potencial de maximizar a eficiência e reduzir os custos de um sistema de geração solar.

V. CONCLUSÃO

Devido à não linearidade dos sistemas de geração fotovoltaicos e à imprevisibilidade de muitos fatores que influenciam na quantidade de energia gerada e estabilidade do sistema, técnicas convencionais precisam de desenvolvimento de maneira a mitigar ou talvez um dia eliminar esses problemas. Técnicas de inteligência artificial são ferramentas promissoras para lidar com esses problemas pois não dependem de modelos matemáticos dos sistemas, tornando por um lado sua implementação mais fácil. Por outro lado, dependem muito do conhecimento do sistema, pois envolvem definição de regras e funções de pertinência como na lógica *fuzzy* e de extenso treinamento como em redes neurais artificiais. Ao se avaliar os trabalhos selecionados e as características de cada técnica a utilização de algoritmos ANFIS aparenta ter, apesar das dificuldades, bom potencial devido a sua robustez. O uso de

inteligência artificial ainda é uma alternativa viável com grande oportunidade de aperfeiçoamento e aplicação, não só na geração fotovoltaica, como em energias renováveis no geral.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em 5 de maio de 2020;
- ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877#:~:text=O%20Brasil%20ultrapassou%20a%20marca,2012%20e%20687%2F2015>. Acesso em 10 de maio de 2020;
- BADAL, Faisal R.; DAS, Purnima; SARKER, Subrata K.; DAS, Sajal K.. **A Survey on Control Issues in Renewable Energy Integration and Microgrid**. 10.1186/s41601-019-0122-8, 2019;
- BELHACHAT, A.; LARBES C.. **Global maximum power point tracking based on ANFIS approach for PV array configurations under partial shading conditions**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 77, pages 875-889, Elsevier, 2017;
- ELGHARBI, Abdessamia; MEZGHANI, Dahfer; MAMI, Abdelkader; GHARBI Abdo. **Intelligent Control of a Photovoltaic Pumping System**. Engineering, Technology and Applied Science Research. Vol.9. 4689-4694, 2019;
- HANNAN Muhammad A.; GHANI Zamre A.; HOQUE, Mohammed M.; Lipu,, Molla S. H.. **A Fuzzy-Rule-Based PV Inverter Controller to Enhance the Quality of Solar Power Supply: Experimental Test and Validation**. Electronics. 8.1335.10.3390/electronics 8111335, 2019;
- HANNAN Muhammad A.; GHANI Zamre A.; HOQUE, Mohammed M.; Lipu,, Molla S. H.. **Fuzzy Logic Inverter Controller in Photovoltaic Applications: Issues and Recommendations**. IEEE Access, vol. 7, pp. 24934-24955, 2019;
- HAMDI, Hichem; REGAYA, Chiheb B.; ZAAFOURI, Abderrahmen. **A sliding-neural network control of induction- motor-pump supplied by photovoltaic generator**. 5. 1. 10.1186/s41601-019-0145-1, 2019;
- METRY, M.; SHADMAND, M. B.; BALOG R. S.; ABU-RUB, H.. **MPPT of Photovoltaic Systems Using Sensorless Current-Based Model Predictive Control**. IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 53, no. 2, pp. 1157-1167, 2017.
- POPOVIC, Ivan; RADOVANOVIC, Ilija. **Methodology for detection of photovoltaic systems underperformance operation based on the correlation of irradiance estimates of neighboring systems**. Journal of Renewable and Sustainable Energy. Vol.10. 2018;
- PRECUP, Radu-Emil; KAMAL, Tariq; HASSAN, Syed Z. **Solar Photovoltaic Power Plants: Advanced Control and Optimization Techniques**. Springer, 2019;
- PRIYA, J. S.; AMBIKA, A.; HARITHA, L.. **Fuzzy logic controller based MPPT for photovoltaic system using ZETA converter**. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 119. 2905-2910, 2018;
- RAI, Anurag S. D.; KURCHANIA, Anil; PAWAR, Reeta. **Photo Voltaic Mppt and Inverter using Fuzzy Logic**. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, September 2019;
- SAKTHITHARANI, S.; SANGEETHA, R.; SUBHA, S.; DEIVAMANI, G.. **Power quality improvement in solar by using fuzzy logic controller**. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 05 Issue: 04, Apr- 2018;
- SANKAR, R. S. R.; KUMAR, S. V. J.; RAO, G. M. **Adaptive Fuzzy PI Current Control of Grid Interact PV Inverter**. International Journal of Electrical and Computer Engineering. 8. 472-482. 10.11591/ijece.v8i1.pp472-482, 2018;
- SERFA JUAN, Ronnie O.; KIM, Jeha. **Utilization of Artificial Intelligence Techniques for Photovoltaic Applications**. Korea Photovoltaic Society, Current Photovoltaic_Research, Vol.7 No.4, 85 - 96 (12 pages), KCI Candidated Journal, Dec 2019;
- SIDHARTHA, P. N.; MUTHUBALAJI, S.; DEVADAS, G.. **Fuzzy Pi Controller Based Single Phase Hybrid Inverter for Domestic Applications**. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN:2249-8958, Volume-9 Issue-1, Oct. 2019;
- SUMATHI, S.; KUMAR, L. A.; SUREKHA, P.. **Solar PV and Wind Energy Conversion Systems An Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques**. Springer, 2015;
- VILLALVA, Marcelo G.; GAZOLI, Jonas R.. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 2ª edição. Érica, 2018;
- ZHENG, Zaohong; ZHANG, Tianxia; XUE, Jiaxiang. **Application of Fuzzy Control in a Photovoltaic Grid-Connected Inverter**. Journal of Electrical and Computer Engineering. 1-10. 10.1155/2018/3806372, 2018.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O autor é o único responsável pelo material incluído no artigo.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESGASTE ABRASIVO DE ROLETES COMPÓSITOS DE CORREIAS TRANSPORTADORAS

Daniel Estefano Pacholok¹; Fernanda Kouketsu¹; Tiago Cousseau²; Carlos Henrique da Silva²

1 - Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba.

2 - Professor, Laboratório de Superfícies e Contato (LASC), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba.

danielpacholok@hotmail.com; fernanda_kouketsu@hotmail.com; tcousseau@utfpr.edu.br;
carloshs@utfpr.edu.br.

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo caracterizar e hierarquizar, segundo a resistência à abrasão, rolos poliméricos de diferentes composições mediante simulação experimental dos fenômenos de desgaste entre roletes de carga e correias de transporte de minério. Analisaram-se amostras de dois polímeros diferentes: PEAD (Polietileno de Alta Densidade) aditivado com negro de fumo e PEUAPM (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular).

METODOLOGIA

Desenvolveu-se um dispositivo para fixar as amostras anelares no equipamento roda-de-borracha modificado, permitindo realizar o ensaio com uma geometria de contato similar à condição em campo. Há possibilidade de realizar ensaios com a amostra em movimento, simulando as condições normais de operação de correias transportadoras, bem como com a amostra fixa, simulando condição de desgaste crítica de rolos, decorrente do travamento dos rolos em operação. A configuração utilizada foi com amostras travadas. Utilizou-se uma carga de 200N a fim de se obter a mesma relação de carga por comprimento de contato que a especificada pela norma de projeto de roletes, ABNT 6678. O controle de carga normal é realizado por um sistema PID com célula de carga e atuador pneumático. O tempo de ensaio de 10 minutos foi determinado experimentalmente a fim de garantir desgaste mensurável em ambos os materiais avaliados, e a velocidade de rotação da roda de borracha é de 200 rpm (2,4m/s). O abrasivo utilizado foi areia nacional brasileira ANB-100, com vazão mássica de 220 g/min.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que o PEUAPM apresenta aproximadamente duas vezes maior resistência ao desgaste abrasivo que o PEAD aditivado com negro de fumo. A equação de Lancaster (1969) para a taxa de desgaste abrasivo estabelece que a resistência à abrasão é proporcional à dureza da superfície, à tensão de ruptura e à ductilidade; sendo os dois últimos mais relevantes que a dureza. Harsha (2011) também relata fiel correlação da taxa de desgaste com o modelo proposto por Lancaster em relação a outros modelos, e ressalta o desgaste abrasivo de polímeros é

Anais do XLIII International Sodebras Congress

atrelado a um conjunto de propriedades e não apenas à uma. Budinski (1997) atribui a elevada resistência à abrasão do PEUAPM à sua capacidade de deformar-se. O PEUAPM estudado é cerca de três vezes mais dúctil que o PEAD aditivado com negro de fumo e as demais propriedades apresentam valores semelhantes; o que reforça a hipótese de que polímeros mais duros apresentam maior resistência à abrasão em função dos mecanismos de desgaste, pois materiais menos dúcteis estão mais propensos ao microcorte que ao microssulcamento, resultando em maior desgaste.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o PEUAPM apresenta maior resistência ao desgaste abrasivo, pelo menor volume desgastado. As propriedades dos materiais estudados apresentam valores semelhantes, com exceção do módulo de elasticidade e da ductilidade, verificada pelo alongamento na ruptura. Supõe-se que tais propriedades estejam relacionadas ao resultado obtido. Estudos mais profundos são necessários para correlacionar as propriedades dos materiais aos mecanismos de desgaste e resistência à abrasão verificados.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto de Tecnologia da Vale (ITV), pelo suporte financeiro (projeto 23064.023748/2018-79); aos fornecedores de roletes poliméricos; ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT NBR 6177:2016 - Transportadores contínuos - Transportadores de correia – Roletes — Projeto, seleção e padronização.
Budinski, K. G. Resistance to particle abrasion of selected plastics. *Wear*, Elsevier, v. 203, p. 302–309, 1997.
Harsha, A. An investigation on low stress abrasive wear characteristics of high-performance engineering thermoplastic polymers. *Wear*, Elsevier, v. 271, n. 5-6, p. 942–951, 2011.
Lancaster, J. Abrasive wear of polymers. *Wear*, Elsevier, v. 14, n. 4, p. 223–239, 1969.

DETECÇÃO DE MUDANÇAS ABRUPTAS DE QUALIDADE: PROPOSTA DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO VOLTADO À INDÚSTRIA 4.0

DETECTION OF ABRUPT QUALITY CHANGES: DECISION SUPPORT SYSTEM PROPOSAL FOR INDUSTRY 4.0

RAFAEL KOVALECHYN; DALBERTO DIAS DA COSTA; PABLO DEIVID VALLE; CLAUDIMIR JOSE REBEYKA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - UFPR

rafael.kovalechyn@ufpr.br, dalberto@ufpr.br, pablo.valle@ufpr.br, rebeyka@ufpr.br

Resumo – *A detecção de pequenas variações na qualidade dos produtos é um requisito importante para os atuais sistemas de manufaturas, em especial aqueles envolvidos no processo de transformação para o ambiente do tipo Indústria 4.0. Quando as variações de qualidade ocorrem de forma suave, as tradicionais cartas de controle ainda se mostram como métodos eficazes para a tomada de decisão. Entretanto, para o caso de mudanças abruptas, outros métodos de controle devem ser avaliados. O objetivo do presente trabalho é propor o uso de um método estatístico denominado CUSUM (Soma Cumulativa) para, juntamente com as cartas de controle, implementar um DSS (sistema de apoio à decisão). A metodologia proposta foi ilustrada a partir de um estudo de caso realizado em uma empresa fabricante de colunas de direção pelo processo de conformação a frio. No estudo aqui apresentado, pôde-se concluir que o DSS concebido é uma ferramenta promissora para auxiliar na transformação de sistemas produtivos, ainda com baixo investimento em tecnologias de informação, em empresas da era “Indústria 4.0”*

Palavras-chave: *Industria 4.0. Sistema de suporte a decisão. CUSUM.*

Abstract - *The detection of small variations in product quality is an important requirement for current manufacturing systems, especially those involved in the transformation process for the Industry 4.0 environment. When quality variations occur smoothly, traditional control charts still prove to be effective methods for decision making. However, in the case of abrupt changes, other control methods must be evaluated. The aim of this work is to propose the use of a statistical method called CUSUM (Cumulative Sum) to, together with the control charts, implement a DSS (decision support system). The proposed methodology was illustrated from a case study carried out in a company that manufactures steering columns by the cold forming process. In the study presented here, it could be concluded that the DSS conceived is a promising tool to assist in the transformation of productive systems, even with a low investment in information technologies, in companies of the “Industry 4.0” era.*

Keywords: *Industry 4.0. Support decision system. CUSUM.*

I. INTRODUÇÃO

As atividades de manufatura dentro do ramo industrial requerem melhorias constantes na eficiência produtiva, qualidade do produto e na redução de custos de produção.

A adoção dos conceitos da Indústria 4.0 e fábrica inteligente exigem um conjunto de tecnologias facilitadoras que devem ser empregadas para se alcançarem as recompensas propostas. A adoção de tecnologias facilitadoras e digitalização da indústria são elementos chaves para a evolução. (Oztemel e Gursev, 2020).

A fábrica inteligente denota um ambiente de fabricação altamente produtivo com conexões entre máquinas e sistemas fabris; onde a busca de negócios sustentáveis e redução de desperdícios buscam ser minimizados constantemente. (Haseeb, 2019).

De acordo com Doltsinis et al. (2020) a inteligência e percepção humana frequentemente atingem seus limites quando confrontadas com sistemas complexos que geram grandes quantidades de dados com muitas interdependências. Diante disso os sistemas de apoio à decisão (DSS – Decision Support Systems) são recomendados para auxiliarem, de modo interativo, os seus usuários a escolherem medidas corretivas para, por exemplo, controlarem a qualidade de um dado processo de manufatura.

O controle estatístico de processos, em particular as técnicas de controle da qualidade, tais como gráficos de controle, vem desempenhando um papel primordial na indústria moderna. De acordo com Montgomery (2013) a variação do processo provocada por causas comuns, também conhecida como variabilidade natural (efeitos de pequenas causas inevitáveis) é inerente ao processo e estará sempre presente. O uso das ferramentas de qualidade tais como as cartas de controle (Shewhart charts) tem como propósito monitorar e garantir a capacidade do processo ante às variações naturais dos sistemas e variáveis influentes.

Os processos de conformação a frio são largamente empregados na manufatura e montagem de produtos para os mais diversos fins com elevada qualidade e baixo custo. De acordo com Bresciani et al.(1997), a conformação a frio por compressão indireta, estiragem ou trefilação, se baseia na deformação plástica do corpo metálico, em temperatura inferior à temperatura de recristalização, mantendo sua integridade e massa. O emprego desses métodos nos processos de fabricação de conformação a frio em tubos metálicos proporcionam melhorias da precisão do controle do processo, aumento da qualidade do produto e eficiência operacional durante a fabricação(Harrou et al., 2015).

Autores como Montgomery (2013) e Alves et al. (2019) demonstram o uso da ferramenta de soma cumulativa(CUSUM) como uma alternativa ao uso da carta de controle de qualidade para detecção de mudanças abruptas, principalmente quando a mudança no sistema é mais rápida, variações iguais ou menores que 1,5 desvio padrão(σ). Nesta condição os gráficos de CUSUM são mais eficientes que os gráficos de Shewhart, pois apresentam um diferencial importante que é a combinação de várias amostras em situações onde o monitoramento do processo é feito mediante observações individuais.

De acordo Woodall e Faltin (2019) o CUSUM pode detectar pequenas mudanças na distribuição da característica de qualidade e, ainda assim, manter um controle seguro do processo com baixo índice de alarmos falsos não apenas no nível de gráficos individuais, mas também no nível de sistema, quando apropriado. Se o resultado da análise for que o processo se encontra ou poderá ficar fora de controle, uma ação de melhoria deve ser tomada para evitar a produção com itens não-conformes ou parada da manufatura.

O objetivo deste trabalho é propor o uso da Soma Cumulativa (CUSUM) para, juntamente com as tradicionais cartas de controle (Shewhart charts), implementar um sistema de apoio à decisão (DSS) que auxilie aos responsáveis pelo controle da qualidade a identificarem mudanças abruptas em processos de manufatura.

Os procedimentos para implementação do DSS aqui proposto são apresentados na forma de um estudo de caso que contempla a análise da variabilidade dimensional de colunas de direção produzidas pelo processo de conformação a frio.

II. METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

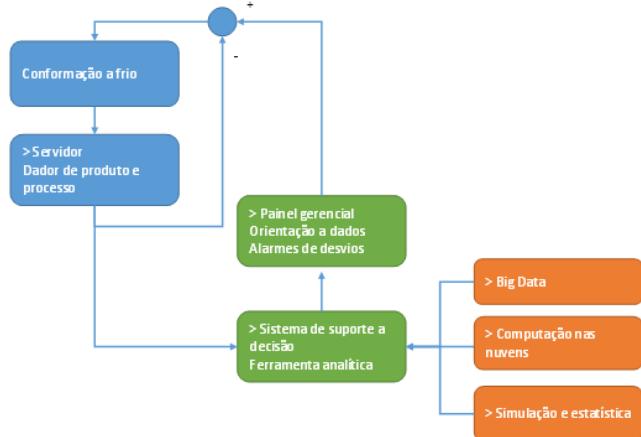
O procedimento para o cálculo do CUSUM se baseia em algoritmos clássicos tais como aqueles sugeridos por Lucas (1985) e Woodall (1986). A associação do CUSUM às cartas de controle consiste na base para implementação do DSS aqui proposto.

Como o intuito de ilustrar melhor os passos para a implementação do DSS, foi realizado um estudo de caso em uma empresa do setor metalmecânico, a qual emprega processos de conformação a frio para a fabricação e montagem de colunas de direção para o setor automobilístico. Neste momento, a referida empresa faz um grande investimento para implantação de novas tecnologias para a sua transformação em uma fábrica inteligente, dentro do contexto da Indústria 4.0.

2.1 – Sistema de apoio à decisão

Neste artigo o modelo de sistemas de suporte a decisão com detecção de mudanças abruptas do processo, representado na Figura 1, é composto por 3 blocos de sistemas interconectados e dependentes, sendo a máquina em estudo, o sistema de suporte a decisão e as ferramentas habilitadoras para detecção de mudanças abruptas de processo.

Figura 1 – Modelo de sistema de suporte a decisão com detecção de mudanças abruptas



Fonte: Autores, 2020.

2.2 – Processo fabril – Conformação a frio de tubos

Os tubos empregados nas colunas de direção para automóveis, objeto deste estudo, são conformados a frio a partir tubos de aço (DIN EN 10305-1) trefilados. As principais dimensões do produto final podem ser vistas na Figura 1. Características importantes do processo de conformação a frio são as elevadas tensões de compressão e, por conseguinte, um grande encruamento do produto (Halmos, 2006).

A Tabela 1 apresenta o levantamento de variáveis, etapa fundamental para determinação de características influentes e não influentes no processo. Devem ser considerados os fatores para o processo como máquina, mão de obra, método, material, meio ambiente e sistemas de medição.

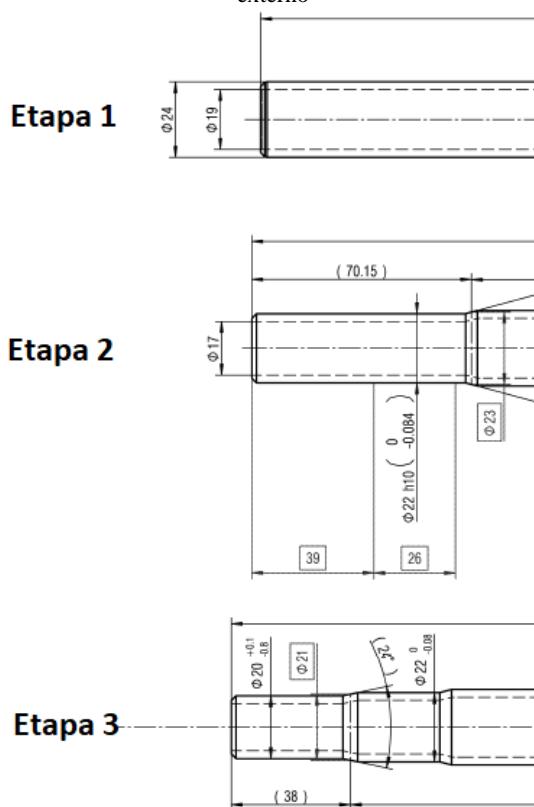
Tabela 1 – Variáveis influentes no processo

Variável influente	Processo	Nível de influência
Maquina		Indiferente
Operador		Indiferente
Matriz diâmetro		Indiferente
Força de conformação		Constante
Velocidade (da matriz)		Controlável
Posição de fim de conformação	Conformação a frio por compressão indireta	Controlável
Eixo - comprimento		Controlável
Eixo - diâmetro externo		Controlável
Óleo para conformação		Indiferente
Temperatura da matriz		Não Controlável
Temperatura ambiente		Ruído
Sistema de medição		Indiferente

Fonte: Autores, 2020.

Desvios no processo, ocasionados por variáveis influentes são inerentes a manufatura não podem ser controladas. Assim o resultado do processo de conformação a frio de tubos sofre variações em suas dimensões finais de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Conformação a frio de tubo com redução de diâmetro externo



Fonte: Autores, 2020.

O controle do processo se baseia na medição da distância entre a ponta do tubo e diâmetro Ø22 após processo de conformação, realizado pela compressão indireta da matriz sobre o tubo conforme Figura 2. A medição é realizada em 100% das peças com auxílio de um sensor LVDT, coleta de dados e digitalização é realizado por controlador lógico programável SMC.

No processo aqui estudado, as cartas de controle estão implementadas há vários anos. Entretanto, a geração de refugos está acima do esperado, mesmo com os controles atuais não sinalizando nenhuma anomalia no processo..

2.3 – Análise estatística – Soma cumulativa

O algoritmo para determinação da soma cumulativa (CUSUM) consiste na aplicação das equações 1 a 4, tal como proposto por Montgomery (2013).

$$c_i = \sum_{j=1}^i (X_j - \mu_0) = (X_i - \mu_0) + c_{i-1}, i \geq 1 \quad (1)$$

O desempenho de um gráfico CUSUM é comumente medido através de parâmetros relacionados com a distribuição do tempo necessário para o gráfico emitir um sinal. De acordo com Jeske (2016) o comprimento médio de corrida(ARL – Average Run Length) é um dos fatores que impactam no nível de confiabilidade do resultado da análise do método CUSUM. O comprimento médio de corrida combinado ao intervalo de decisão h e ao desvio a ser medido, é influente no resultado alarmes falsos positivos e negativos, demonstrado pela Tabela 2.

Tabela 2 – Comprimento de corrida média

Desvio na média (múltiplos do σ)	$h = 4$	$h = 5$
0	168	465
0,25	74,2	139
0,5	26,6	38
0,75	13,3	17
1,00	8,38	10,4
1,50	4,75	5,75
2,00	3,34	4,01
2,50	2,62	3,11
3,00	2,19	2,57
4,00	1,71	2,01

Fonte: Montgomery, 2013.

Segundo Montgomery (2013) o CUSUM tabular acumula os desvios em relação à média do processo, tanto para cima (C_i^+), quanto para baixo (C_i^-). Estas estatísticas são chamadas de CUSUMS unilaterais superior(equação 2) e inferior(equação 3).

$$C_i^+ = \max[0, X_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (2)$$

$$C_i^- = \max[0, (\mu_0 - K) - X_i + C_{i-1}^+] \quad (3)$$

Os valores iniciais são $C_0^+ = C_0^- = 0$.

K é o valor de tolerância ou de folga, matematicamente estabelecido:

$$K = \frac{\delta}{2\mu} = \frac{\mu_1 - \mu_0}{2} \quad (4)$$

Sendo μ_1 o valor que se está interessado em detectar de maneira mais rápida.

Há a necessidade de definir um intervalo de decisão H . Por Hawkins e Olwell (1993) este intervalo usualmente é utilizado como 4σ ou 5σ . Para efeito deste trabalho, utilizou-se $K = 0,5\sigma$ e $h = 4\sigma$.

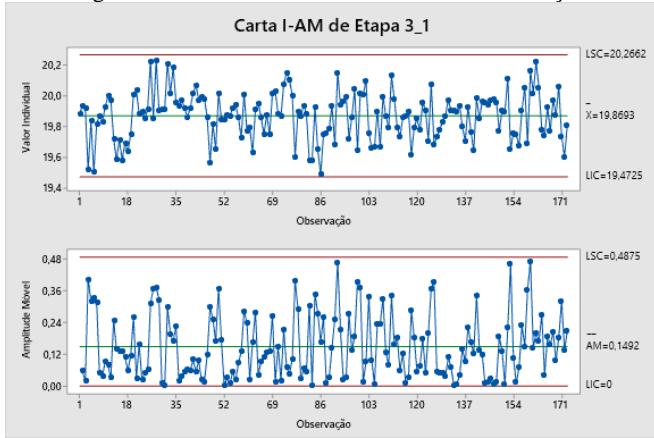
III. RESULTADOS

A análise de dados foi tomada em um sistema de produção real, com as condições de produção que são passíveis de controle em regime e sem intervenções, contendo os sistemas e métodos de controle calibrados e funcionais. Para elementos influentes, como temperatura da matriz, foi analisado o processo em temperatura estável e sem paradas de máquina durante corrida de fabricação analisada.

3.1 – Resultados da simulação – Carta de controle

Analizando os dados do processo, de outubro de 2020, não apresenta-se anomalias no gráfico de Shewhart - Carta de controle I-AM com valor individual, durante todo o processo de fabricação, conforme Figura 3.

Figura 3 – Carta de controle da saída de conformação

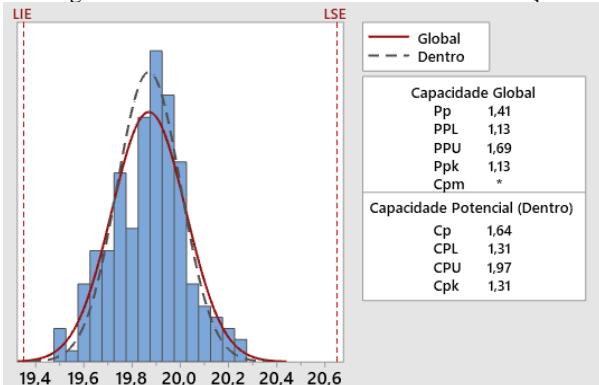


Fonte: Autores, 2020.

Pelo gráfico da carta de controle de Shewhart, de acordo com a Figura 3, observa-se que o processo está aparentemente sobre controle. Não apresenta a inicialmente necessidade de intervenção para melhoria do processo.

Realizando a análise de capacidade normal, na Figura 4, temos uma distribuição levemente deslocada da média, mas com índices de capacidade aceitáveis para o processo fabril.

Figura 4 – Carta de controle da saída de conformação



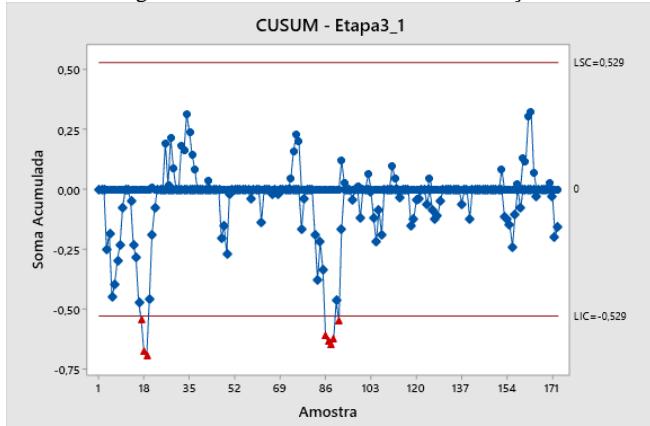
Fonte: Autores, 2020.

3.2 – Resultados da simulação – Soma Cumulativa

Para a fábrica, a busca por uma causa especial de excesso de refugos ou desvios abruptos de processo só é feito quando o resultado de peças refugos está acima do esperado ou extrapola os limites de controle atuais, sem a utilização de outras regras de análise ou controle.

Com o objetivo de analisar o motivo a incidência e aumento de refugos e desvio de processo em etapas posteriores, mesmo com o gráfico de Shewhart Carta I-AM não mostrando nenhum valor além dos limites de controle, utilizou-se o gráfico de controle CUSUM. Para esses mesmos dados, na Figura 5, considera-se $K = 0,5\sigma$ e $h = 4\sigma$.

Figura 5 - CUSUM da saída de conformação



Fonte: Autores, 2020.

Com a aplicação do método ficam evidentes as alterações do processo, assim a vantagem de utilizar-se o gráfico CUSUM, como gatilho para a detecção de mudanças abruptas na manufatura, o que não foi detectada pelo gráfico de Shewhart.

Nesta corrida de produção já é possível detectar que a 17ª peça está fora do limite de controle pelo gráfico de soma cumulativa, sendo na carta de controle de Shewhart o processo considerado estável. E mesmo o processo voltando a estabilidade, sem intervenção humana ou direta, condição de produção resultante indiretamente das variações naturais do produto e manufatura, resulta novamente na 85ª peça estar novamente fora de controle.

O sistema de controle de qualidade combinando os dois métodos estatísticos possibilita detectar tanto as pequenas variações (menores que $1,5\sigma$) através do CUSUM, quanto as variações acima de $1,5\sigma$, pelo gráfico de Shewhart.

Nesta simulação e análise foi observado uma corrida com uma amostra de tamanho 171 medições. Mas de acordo com a Tabela 2 e nas condições definidas de tolerância e detecção para mudanças escolhidas, pode-se optar por corridas menores, por exemplo amostras de tamanho 27, e realizar a análise continuadamente. Assim tendo maior acurácia na detecção de mudanças abruptas e intervenções assertivas para melhoria do processo.

IV. CONCLUSÃO

A associação do método estatístico CUSUM às tradicionais cartas de controle se mostrou eficiente e promissora para a implantação de um sistema de apoio à decisão (DSS) voltado à detecção de mudanças abruptas na qualidade de produtos para fins mecânicos, tais como aqueles fabricados por conformação a frio.

No estudo aqui apresentado, pode-se concluir que o DSS concebido é uma ferramenta útil para auxiliar na transformação de sistemas produtivos, ainda com baixo investimento em tecnologias de informação, em empresas da era “Industria 4.0”..

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRESCIANI FILHO, Ettore; ZAVAGLIA, C A C; BUTTON, S T; GOMES, Edson; NERY, Fernando Antonio da Costa. *Conformação plástica dos metais*, 1997.

ALVES, C., KONRATH, A., HENNING, E., WALTER, O., PALADINI, E., OLIVEIRA, T., & OLIVEIRA, A. **The Mixed CUSUM-EWMA (MCE) control chart as a new alternative in the monitoring of a manufacturing process.** Brazilian Journal of Operations & Production Management, 16(1), 1-13, 2019.

DOLTSINIS, S., Ferreira, P., MABKHOT, M. M., LOHSE, N. **A Decision Support System for rapid ramp-up of industry 4.0 enabled production systems.** Computers in Industry, 116, 103190, 2020.

HALMOS, G. T. **Roll Forming Handbook: Manufacturing engineering and materials processing.** Florida, U.S. Taylor & Francis Group 2006.

HARROU, F., NOUNOU, M. N., NOUNOU, H. N., & MADAKYARU, M.. **PLS-based EWMA fault detection strategy for process monitoring.** Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 36, p. 108-119, 2015.

HAWKINS, D. M., OLWELL, D. H. **Cumulative Sum Charts and charting for quality improvement.** Quality Engineering, p. 463-477, 1993.

HASEEB, Muhammad et al. **Industry 4.0: A solution towards technology challenges of sustainable business performance.** Social Sciences, v. 8, n. 5, p. 154, 2019.

JESKE, Daniel R. **Determining the Reference Sample Size Needed to Control the Accuracy of the Conditional in-control ARL of a Normal-theory CUSUM.** Quality and Reliability Engineering International, v. 32, n. 7, p. 2499-2504, 2016.

LUCAS, J.M. **Cumulative Sum (Cusum) Control Schemes,** ASQC Quality Congress Transactions, Milwaukee, p. 367-372, 1985.

MONTGOMERY, Douglas C., **Introduction to Statistical Quality Control**, 7th ed., John Wiley & Sons, New York, 2013

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. **Literature review of Industry 4.0 and related technologies.** Journal of Intelligent Manufacturing, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

WOODALL, William H. **The design of CUSUM quality control charts.** Journal of Quality Technology, v. 18, n. 2, p. 99-102, 1986.

WOODALL, William H.; FALTIN, Frederick W. **Rethinking control chart design and evaluation.** Quality Engineering, v. 31, n. 4, p. 596-605, 2019.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

FALSE FAILURE INDEX REDUCTION IN COLD-START DYNAMOMETER USING STATISTICAL PROCESS CONTROL

JORGE TONELLA JR¹; LOUISI FRANCIS MOURA²; GIUSEPPE PINTAUDE¹
1 – UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CURITIBA 2 – UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – PONTA GROSSA
jorgej@alunos.utfpr.edu.br; louisifrancis@utfpr.edu.br; pintaude@utfpr.edu.br

This work presents an analysis of production and maintenance management using process statistics control. The case study is a cold-dynamometer located at a Brazilian automotive company. It was detected that a false failure index higher than recommended by the global specialist. This index impacts production, increasing the takt time. The process engineering analyzed the reports obtained from the dynamometer, containing the most frequent causes of false failures and aid maintenance to evaluate its components with integrity analyzed and component replacements. The manufacturing engineering was responsible for validating the process and maintenance actions to reduce the false failure index. After five weeks, a decrease in the false failure index was noticed, turning it acceptable, making the cold-start dynamometer reliable.
Keywords: Cold Start Dynamometer. False Failure Index. Pareto Principle.

I. INTRODUCTION

The use of statistical analysis in industrial processes is a practice in quality and maintenance management. (BAJAJ, GARG, SETHI, 2018; MARTINS, 2019; TSAROUHAS, 2020) The availability of indicators to performance management, for example, is an essential step to organizational performance, processes evaluation, and making-decision. In this context, industrial processes are strategically connected to preventive, predictive, corrective, and detective maintenance. (ROMERO, 2011; OLIVEIRA, 2014; YENG, JUSOH, ISHAK, 2018) According to the Brazilian Association of Maintenance and Asset Management (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos), salary and materials charges represent 65% of all maintenance costs during 1995 and 2013. The data suggests the relevance of maintenance management once it plays with a company's strategic areas, e.g., supply chain and inventory management. The high cost of labor suggests the importance of a qualified team capable of combining technical knowledge to organizational strategy, performance management, and costs. However, training, competition, and the educational level of a team can be a challenge. The study performed by Reis, Costa and Almeida (2013) with large and medium industries in the metropolitan region of Recife (Brazil) points out how maintenance management can provide competitiveness. However, frequently the managers' team experience is more adopted to analytical decisions than qualified or specialized tools.

Statistical tools are handy for making-decision and organizational processes. As an example, statistical analysis can contribute to the fails-time identification of preventive planning. In contrast, predictive maintenance intervenes on

components that are in a lower limit of the property of its useful life. (ROMERO, 2011) In this way, statistical analysis can favorably contribute to continuous monitoring to maximize machines and equipment's usability, avoiding failures or programming errors.

Statistical process control (SPC) is described as a technic or analysis method to prevent and identify errors or failures focusing on improving procedures, eliminating or reducing the problem, and controlling it through preventive actions. (SAVI *et al.*, 2015; SGANZELLA; ARA, and LOUZADA, 2012) The leading cause of an error or failure in the process must be identified and the characteristics of the expected quality. So, SPC can direct maintenance and control actions to ensure that the minimum of products or services leads to rejection. Also, SPC allows the systematic reduction of variability in quality characteristics, considering an effort to improve the feature, productivity, and reliability of produced or supplied ones. (HENNING *et al.*, 2014)

Control graphs, histograms, cause, effect diagram, and the Pareto graph are examples of qualitative and quantitative tools usually present in the SPC routine (PEREZ, DIACENCO and PAULISTA, 2016; SAVI *et al.*, 2015; GALVANI and CARPINETI, 2013; SGANZELLA, ARA, and LOUZADA, 2012). These tools provide a quick visualization of information as can be used as a source of information for decision-making or other analysis methods, such as Six Sigma, for example. Yadav, Mathiyazhagan, Kumar (2019) performed a study to improve a car windshield model facing losses due to poor performance and glass manufacturing rejection for automotive applications. The use of Six Sigma provided the profitability and reduced defects as well; it achieved ~94% against the 88.4% previously identified. The study by Galvano and Carpineti (2013) with companies that use the Six Sigma methodology points out that, in many cases, techniques with a visual characteristic as well easy to use, such as the Pareto Graph are preferable among users. The “Pareto Principle” or “80/20” is the “states that for many phenomena 80% of the output or consequences are produced by 20% of the input or causes” (DUNFORD *et al.*, 2014, p. 141) and has the characteristic of a frequency distribution categorized by attributes (SAVI *et al.*, 2015) and its applicability in the most diverse fields (BAJAJ, GARG, SETHI, 2018; MARTINS, 2019, JOHNSON, BHATTACHARYYA, 2019).

Andrade and Kakuda (2013) applied SPC and necessary tools, including the Pareto Principle, to analyze the productive process of metal packages for fish. The compared results to the collected data in different periods, i.e., one

period out of the study control and another after an SPC application. They verified a reduction of 2.69% losses in the process and an increase in productivity of 37% with the reduction of machine downtime by 68.54%. Miyamoto and Barbosa (2013) developed a complementary module to the software used in a profile industry using the Pareto Principle. Savi *et al.* (2015) used SPC with the Control Graph and the Pareto Graph to study radiographic waste. While the Control Graph pointed out the ability to predict equipment failures, the Pareto Graph pointed out the most recurrent causes in the tailings rates.

In this context, this paper presents an analysis of production and maintenance management using SPC in a case study in a cold-dynamometer located in an automotive industry. It was detected that a false failure index higher than recommended by the global specialist. Indeed, engine production is a complex process, which demands precision control, especially in the dimensional aspects during assembly steps. The dimensional control can be assured using different tools and calibrators. On the other hand, to guarantee precision during assembly steps, some items such as poka-yokes can be used. However, to ensure a correct assembly, the cold-start dynamometer is the best solution before combustion.

A cold-start dynamometer is defined as an engine dynamometer without combustion during the test, usually giving motion through the flywheel. This equipment is used to test the engine's assembly through electronic sensors, such as intake and exhaust pressure, blow-by, engine torque, vibrations, oil pressure, and electronic engine integrity. Due to the high number of components and its sensitivity, a false failure index of 4% is designed by specialists, meaning a ratio of 96% of engines tested for engines produced.

A false failure index higher than 4% impacts production and quality indicators. For production, a higher index means the necessity of using the combustion dynamometers and/or re-work on a failed engine, implying a reduction of produced engines per day. For quality, a higher index of false failure engines implies more time of using the combustion dynamometer, engine re-work, which causes paid workforce and equipment costs, increases the manufacturing value, and decreases the profit for engines produced.

The next section presents the methodology for this work, followed by the results when the SPC application effects decrease the false failure index, turning it acceptable and delivering the whole process reliable.

II. METHODOLOGY

The methodology employed in this study was based on the Pareto Principle, a standard tool in factories for rapid analysis and deployment. Pareto Principle was created on Vilfredo Pareto observations, in which 80% of outputs are related to 20% of inputs (CRAFT and LEAKE, 2002). Pareto Principle is used in many areas, such as lean manufacturing in the automotive industry (CHAURASIA, GARG and AGARWAL. 2019), technical equipment conditions of residences (NOWOGONSKA, 2019), and even nuts quality at storages. (SANDULACHI *et al.*, 2019)

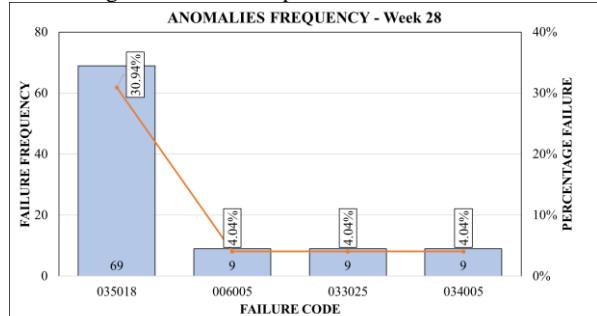
Another method used to improve the reliability of the cold-start dynamometer was the statistical analysis of measurement results. The statistical analysis in processes is a powerful tool for companies' management, especially for quality and maintenance management. The information available for measurement of process performance is an essential step of organizational performance management, process evaluation, and decision-making. In this context, industrial processes are submitted to proper maintenance management. (ROMERO, 2011; OLIVEIRA, 2014) Statistics analysis techniques are essential allies for decision-making and organizational processes. In preventive maintenance, for example, statistical analysis can contribute to failure time identification. In contrast, predictive maintenance will act on maintenance intervention in components near the lifespan's low limit. (ROMERO, 2011)

The methodologies employed helped process engineering know which were the most frequent causes of false failure on tested engines in the cold-start dynamometer. The process monitoring has started in the 28th week of 2020. The Pareto principle was used to help determine the most frequent causes of failures in the engine's tests. Table 1 and Figure 1 show that Pareto's graphic resulted in week 28, presenting the most frequent failures that happened this week.

Table 1: Frequent Failures on Dynamometer on Week 28

Failure Code	Failure Description	Frequency	Percentage
035018	Starting Torque	69	39.94%
006005	Phase Sensor	9	4.04%
033025	Intake Valve	9	4.04%
034005	Exhaust Pressure	9	4.04%

Figure 1: Pareto Graphic of Week 28 Failures

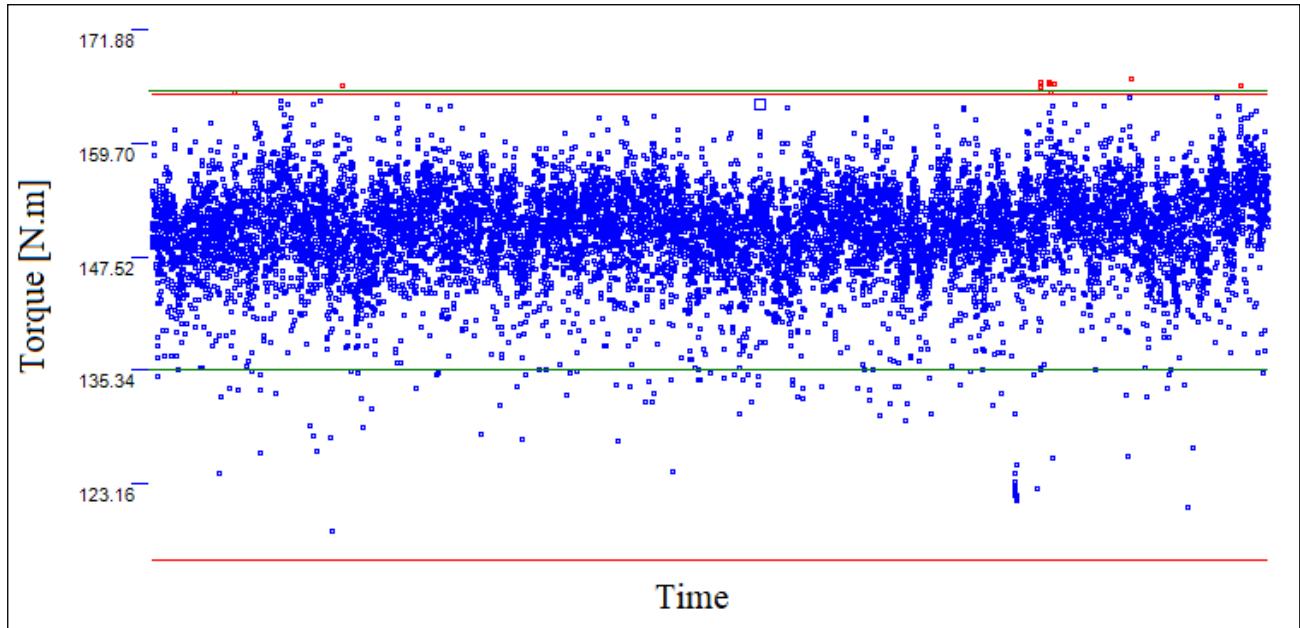


Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

It can be noticed that starting torque was the most frequent problem at week 28. Other problems were detected related to electronics, intake, and exhaust of engines.

The application of statistical process control was used on starting torque issues and dispersion of parameters during the test. The quantities statistics were analyzed for starting torque, which is a dispersion of results of starting torque measurement, for its mean and standard-deviation behavior. As can be noticed in Figure 2, there are two windows of work: the statistical window, based on 3-sigma, and the working window, which represents the interval that the cold-start dynamometer accepts the result as OK.

Figure 2: Starting Torque Dispersion of 10.000 tested engines

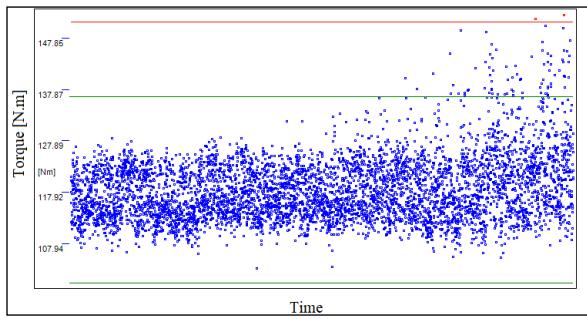


Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

The superior red line in Figure 2, representing the working window's superior limit, is below the green line, representing the statistical window. This situation means that the working limit is more closed than the upper limit of the statistical window. Thus, the alternative chosen by process engineering was to move the working window to more appropriate limits, intending to reduce starting torque issues.

Another use of statistical process control was to analyze the increase of dispersion of engine torque. This problem is closer to predictive maintenance. If there is an increase of cloud points dispersion, some torque measurement component is closer to the catastrophic failure, which implies more extended time maintenance. Figure 3 shows this scenario.

Figure 3: Dispersion of Engine Torque



Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

As shown in Figure 3, there was an increase of dispersion in the second half of the measured time for engine torque. This scenario justified an intervention on torque measurement components of cold start dynamometer.

The process engineering aided the maintenance engineering to fix and replace components that influence these failures' occurrence to solve these problems. It fell to manufacturing engineering to evaluate and validate the interventions made by process and maintenance engineering. The manufacturing engineering should corroborate if the

interventions were sufficient to reduce false failure index and takt time. The results are shown in the next section.

III. RESULTS

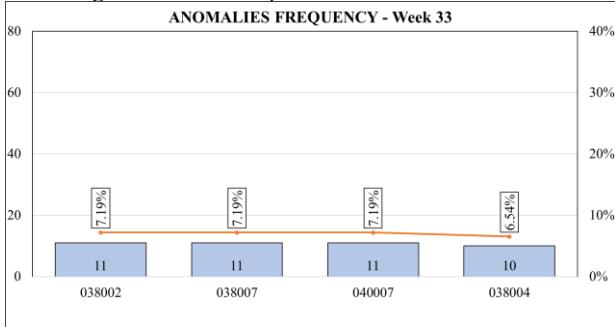
The observations made from Table 1 and Figure 1 generated some investigations by maintenance engineering. For problems related to intake and exhaust pressures, it was detected that some gaskets and seals were damaged, being replaced and decreasing occurrences of intake/exhaust pressure related problems. It detected some electronic cables damaged for phase sensor issues, being replaced, and decreasing this occurrence. However, the most important and impacting failure on the false failure index was the starting torque. Process engineering indicated a need for recalibration of torquemeter and checked the dragging system's bushing and bearings, responsible for motion in flywheel and test in the engine. If the dragging system has some issue, it will translate more vibration to the flywheel and torque needed to move the engine.

Maintenance engineering evaluated the dragging system status. It was observed looseness on bearings and bushings. These components were replaced before torquemeter calibration to guarantee the integrity of the dragging system. After the calibration and replacement of damaged components, a decrease through the weeks of starting torque issues increased the cold-start dynamometer's reliability. In Week 33, other issues have started: vibration-related problems. Table 2 and Figure 4 present more details of the failures observed in week 33.

Table 2: Frequent Failures on Dynamometer on Week 33

Failure Code	Failure Description	Frequency	Percentage
038002	Flywheel Vibration Max	11	7.19%
038007	Accelerometer 3	11	7.19%
040007	Head Vibration	11	7.19%
038004	Flywheel Vibration Mean	10	6.54%

Figure 4: Pareto Graphic of Week 33 Failures



Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

The failures that occurred during week 28 are not the top 4 failures in week 33. Thus, all the engineering solutions (process, maintenance, and manufacturing) were useful, but other interventions were necessary at the cold-start dynamometer this week.

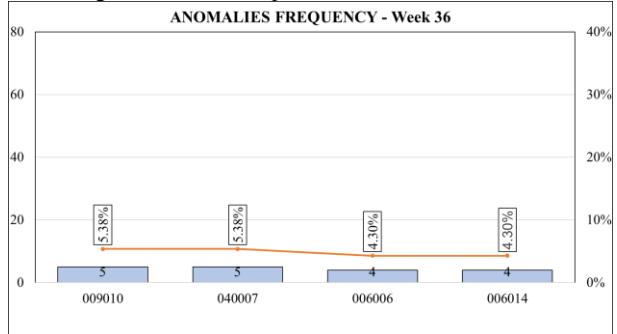
Even though each failure cause is below 10%, all top 4 in week 33 is related to vibration. Hence there was a need to evaluate and fixing components related to vibration issues, such as springs, accelerometers, and electronic sensors. The maintenance engineering fixed and replaced the components related to engine vibration and it was noticed a decrease in vibration-related issues in the following weeks.

In the final week of analysis, it was noticed elimination or decrease of the problems observed during the weeks. The last observation from this study was made in week 36. The results are shown in Table 3 and Figure 5.

Table 3: Frequent Failures on Dynamometer on Week 36

Failure Code	Failure Description	Frequency	Percentage
009010	Current VVT NOK	5	5.38%
040007	Head Vibration	5	5.38%
006006	Phase Sensor	4	4.30%
006014	Engine Phase	4	4.30%

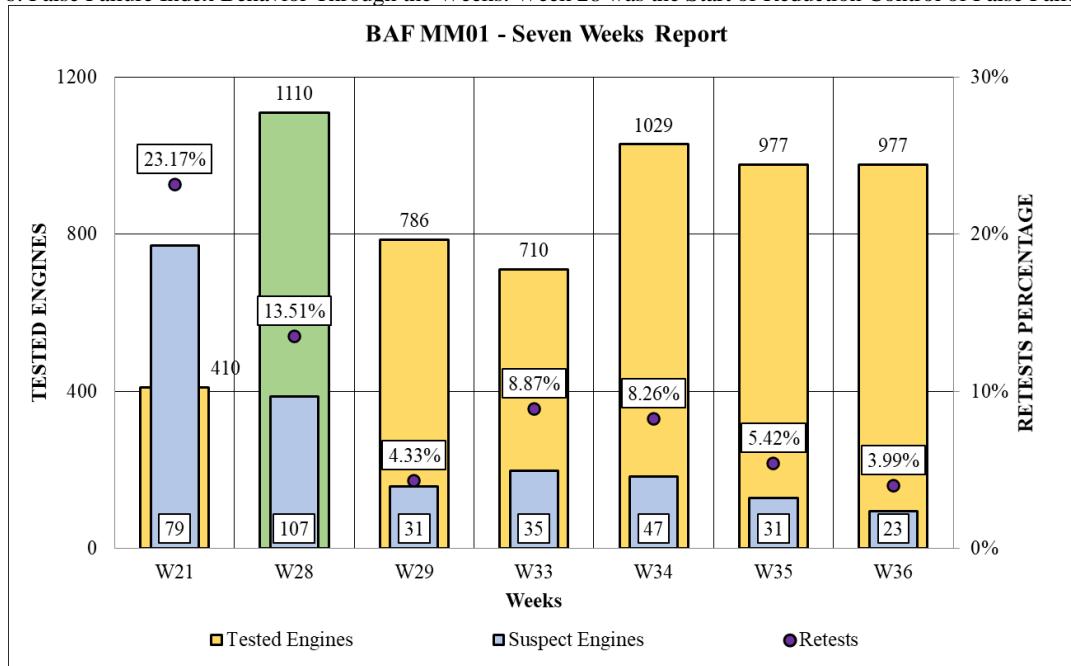
Figure 5: Pareto Graphic of Week 36 Failures



Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

The occurrences of false failure index in week 36 are not related to the causes of weeks 28 and 33 but head vibration. However, its frequency is lower than that happened in week 33. Figure 3 shows that the engineering team's analyses, interventions, and validations were practical in reducing false failure occurrences. Figure 6 confirms the reduction of the false failure index, which shows the false failure index's follow-up in each week analyzed.

Figure 6: False Failure Index Behavior Through the Weeks. Week 28 was the Start of Reduction Control of False Failure Index



Source: TONELLA, MOURA and PINTAUDE, 2020

As shown in Figure 6, there was a significant reduction of false failure index along the weeks. Except for week 29, it can be seen an almost linear decrease of false failure index, finishing with 3.99% of false failure, being accepted by the specialist in the cold-start dynamometer.

Even though the Pareto Principle is an established tool in production management, it can implement this tool on Industry 4.0. The cold-start dynamometer has a dedicated PC for its operation. This PC keeps all the data of tests, quantities, curves statistics, and engine test summaries. For this reason, it is possible to implement tools like Big Data to present Pareto graphics in real-time and process statistics control as a tool to aid in predictive maintenance.

IV. CONCLUSIONS

This paper presents the results of an analysis of production and maintenance management using SPC in a case study in a cold-dynamometer located. The use of the Pareto Principle and SPC was effective in reducing the false failure index for the cold start dynamometer. This paper's findings indicate the importance of maintenance management using analytical methods. They indicate how relevant the adequate analysis tools can strategically lead to reliability, security, adequate and sustainable costs in an industrial environment.

The methodology employed in this work reduced the false failure index to the percentage recommended by the cold start dynamometer specialist. The use of the Pareto Principle aided in detecting the top 4 causes of failure in cold start dynamometer. The interventions made by engineering, based on Pareto graphics, were influential in reducing the false failure index. Also, statistics control of starting torque showed that was needed engineering intervention on working limits.

It is worthwhile to mention that the increasing dispersion of engine torque showed that maintenance was needed before a catastrophic failure, meaning that real-time predictive maintenance software is likely to be implemented. The reduction of the false failure index contributed to increasing the number of tested engines, as shown from week 33 to week 36.

Academic researchers can use this experience to extend studies of SPC in predictive management plans in real scenarios. It is recommended the application of other analytic methods comparing the results and provide performance indicators to making-decision. Sustainable cost control and maintenance management planning can be a strategic and competitive advantage to the businesses. In addition to the results achieved by applying statistical methods, in terms of practical implications, this paper shows to practitioners and managers how an academic study and partnership can contribute to an organization's routine and improvement process.

V. REFERENCES

- ANDRADE, Pedro P. Jr., KAKUDA, Sandro M. **Controle estatístico em processos industriais**. Exatas & Engenharias, v. 3, n. 05, 2013.
- BAJAJ, Shweta; GARG, Ruchi; SETHI, Monika. **Total quality management: a critical literature review using Pareto analysis**. International Journal of Productivity and Performance Management, 2018.
- CRAFT, Ralph C.; LEAKE, Charles. **The Pareto principle in organizational decision making**. Management Decision, 2002.
- CHAURASIA, Basant; GARG, Dixit; AGARWAL, Ashish. **Lean Six Sigma approach: a strategy to enhance performance of first through time and scrap reduction in an automotive industry**. International Journal of Business Excellence, v. 17, n. 1, p. 42-57, 2019.
- DE OLIVEIRA, Monique Miranda. **Análise de métodos estatísticos em planejamento e controle de manutenção**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
- DUNFORD, Rosie. *et al.* (2014) **The Pareto Principle**. The Plymouth Student Scientist, 7(1), p. 140-148. 2014.
- GALVANI, Luis Ricardo; CARPINETTI, Luiz César R. **Análise comparativa da aplicação do programa Seis Sigma em processos de manufatura e serviços**. Production, v. 23, n. 4, p. 695-704, 2013.
- HENNING, Elisa *et al.* **Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável**. Sistemas & Gestão, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.
- JOHNSON, Richard A.; BHATTACHARYYA, Gouri K. **Statistics: principles and methods**. John Wiley & Sons, 2019.
- MARTINS, António Pedro Queirós. **Maintenance management of a production line-a case study in a furniture industry**. 2019.
- MIYAMOTO, Luiz C.; BARBOSA, Danilo H.. **Módulo de coleta e análise de dados baseado no diagrama de pareto aplicado na produção de perfilados**. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, v. 9, n. 1, 2013.
- NOWOGONSKA, Beata. **Preventive services of residential buildings according to the pareto principle**. In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, p. 112034. 2019.
- PEREZ, Valeria V.; DIACENCO, Adriana A.; PAULISTA, Paulo H.. **Análise do uso das sete ferramentas estatística da qualidade: um estudo bibliográfico**. Revista Científica da FEPI-Revista Científic@ Universitas, 2016.
- REIS, Ana C. B.; COSTA, Ana P. C. S.; ALMEIDA, Adiel T.. **Diagnóstico da gestão da manutenção em indústrias de médio e grande porte da região metropolitana de Recife**. Production, v. 23, n. 2, p. 226-240, 2013.
- ROMERO, Camila M.. **Análise estatística e avaliativa do processo de manutenção mecânica em uma empresa de transporte público por ônibus**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção), Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos do Goytacazes, 2011.
- SANDULACHI, Elisaveta *et al.* **Application of pareto principle in monitoring walnuts quality at storage**. UTM, 2019.
- SAVI, M. B. M. B. *et al.* **Índice de rejeito radiográfico utilizando o controle estatístico de processo**. X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad

Radiológica “Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución” Buenos Aires, 12 al 17 de abril, 2015.

SGANZELLA, João P.; ARA, Anderson; LOUZADA, Francisco. **Controle Estatístico de Processo via linguagem livre**. Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838, v. 5, n. 1, p. 16-31, 2012.

TSAROUHAS, Panagiotis. **Reliability, availability and maintainability analysis of a bag production industry based on the six sigma DMAIC approach**. International Journal of Lean Six Sigma, 2020.

YADAV, Narottam; MATHIYAZHAGAN, Kaliyan; KUMAR, Krishna. **Application of Six Sigma to minimize the defects in glass manufacturing industry**. Journal of Advances in Management Research, 2019.

YENG, Sin K.; JUSOH, Muhammad Shahar; ISHAK, Noormaizatul Akmar. **The impact of total quality management (TQM) on competitive advantage: a conceptual mixed method study in the Malaysia Luxury Hotel Industries**. Academy of Strategic Management Journal, v. 17, n. 2, p. 1-9, 2018.

VI. ACKNOWLEDGMENTS

J. Tonella Jr. acknowledges Fundação Araucária for his scholarship.

VII. COPYRIGHT

Copyright: Jorge Tonella Jr., Louisi Francis Moura, and Giuseppe Pintaude are the only responsible for the material included in this paper.

REPOSIÇÃO DE SONDA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO EM VÁLVULAS DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO QUALITATIVA DE NOVA FERRAMENTA DE CFD EM PESQUISA DE PANE

REPOSITIONING OF MASSFLOW PROBE FROM VALVES OF AIR CONDITIONING SYSTEMS THROUGH THE QUALITATIVE UTILIZATION OF A NEW CFD TOOL IN TROUBLESHOOTING

ANDREI TESTI¹; TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA²; FRANCISCO ANTÔNIO LOTUFO²; MÁRCIO ABUD MARCELINO².

1 – UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ; 2 – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA;

andrei.testi@gmail.com; teofilo.souza@unesp.br; francisco.lotufo@unesp.br; braziles@gmail.com

Resumo – Este artigo apresenta uma análise de engenharia através da utilização de uma nova ferramenta de CFD, ANSYS Discovery Live, no contexto de investigação de causa raiz para erros na leitura da vazão de uma nova versão de válvula para a medição e controle de vazão em sistemas de ar-condicionado de aviões de pequeno porte. O ciclo de desenvolvimento de produto na indústria aeronáutica é mais longo que a maioria dos demais segmentos industriais devido à operação integrada e simultânea de vários sistemas que obedecem aos padrões de segurança exigidos para a homologação de tais produtos. Assim, empregar a técnica de engenharia mais adequada para solução de problemas que surgem no curso do desenvolvimento de produto é um divisor d'água nesse peculiar segmento industrial, de forma a não comprometer alocação de recursos, homem-hora de engenharia, qualidade da solução, prazos de certificação e entrega à clientes.

Palavras-chave: CFD. Válvula. Ar-condicionado.

Abstract – This article presents an engineering analysis that adopts the use of a new CFD tool, ANSYS Discovery Live, in the context of root cause investigation due to errors in the massflow reading from a new flow control valve of air-conditioning systems of small aircraft type. The product development cycle in the aeronautical industry is longer than most of the other industrial segments due to the integrated and simultaneous operation of several complex systems that comply with the safety standards required for the approval and certification of such products. Therefore, employing the most appropriate engineering technique to solve problems that arise in the course of product development is a turning point in this peculiar industrial segment so as not to compromise resources allocation, engineering man-hour, quality, certification deadlines and delivery to customers.

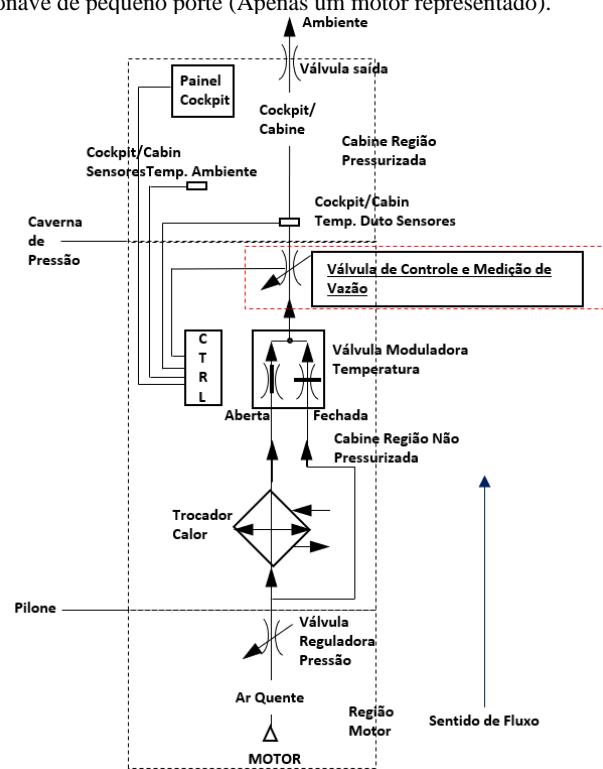
Keywords: CFD. Valve. Air conditioning.

I. INTRODUÇÃO

O controle de vazão é de extrema importância não apenas para fins de cálculos financeiros, mas também para monitoramento do rendimento ou desempenho de um processo industrial, equipamento ou sistema cujas operações são muito restritivas (DELMÉE, 2003).

A Figura 1 mostra o esquemático de uma arquitetura típica de sistema de ar-condicionado para uma aeronave e pequeno porte que mostra onde está inserida a válvula de medição e controle de vazão, objeto de análise desse artigo. (KROES et al, 2013).

Figura 1 – Esquemático de sistema de ar-condicionado de uma aeronave de pequeno porte (Apenas um motor representado).



Fonte: Adaptado de KROES et al, 2013.

O esquemático da Figura 1 mostra que o ciclo do sistema de ar-condicionado tipo ciclo à ar se inicia com a extração de ar quente do motor, logo depois, esse fluido que tem a sua pressão controlada pela válvula reguladora de

pressão (VRP) escoa direto para o sistema ar-condicionado da aeronave (MOIR & SEABRIDGE, 2008) (KROES *et al*, 2013).

O sistema ar-condicionado é de malha fechada, composto pelos componentes (KROES *et al*, 2013):

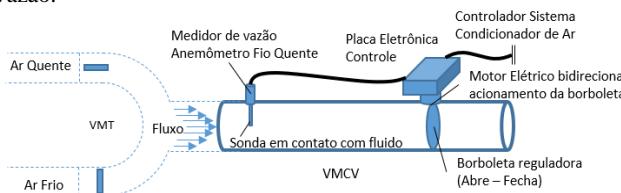
- Válvula moduladora de temperatura (VMT);
- Válvula de medição e controle de vazão (VMCV);
- Sensores ambiente de temperatura (cockpit e cabine de passageiros);
- Botão seletor do ajuste de temperatura dos compartimentos dos pilotos e passageiros;
- Controlador eletrônico automático de temperatura do sistema condicionador de ar (CTRL).

O CTRL alimenta eletricamente os componentes citados acima, e recebe sinais de *feedback* dos sensores de temperatura e posicionamento das válvulas VMT e VMCV. O CTRL através de seu software embarcado compara os dados recebidos dos sensores de temperatura e compara com o valor da temperatura ajustada pelos pilotos e passageiros. O erro proveniente dessa diferença é convertido em corrente que atua direto na VMT, que vai funcionar como uma válvula misturadora de fluido quente, oriundo do pôrtico do motor, e fluido frio, oriundo do pôrtico do trocador de calor. Com o componentes desenergizado, ou na posição neutra, um pôrtico de entrada da VMT possui uma borboleta de ajuste de temperatura na posição totalmente aberta, e o outro pôrtico possui uma outra borboleta de ajuste de temperatura na posição totalmente fechada. Portanto, quando há demanda de se esquentar a cabine, quando o avião está em maiores altitudes por exemplo, a VMT abre mais o pôrtico de ar quente que vem do motor. Quando há demanda para se resfriar a cabine, mais predominantemente quando o avião estiver em solo em dias quentes, às vezes funcionando conjuntamente com a máquina de ciclo à vapor por exemplo, a VMT abre mais o pôrtico de ar frio que vem do lado do trocador de calor.

Durante todo o tempo, a VMCV mede e controla a vazão oriunda desse escoamento misturado pela VMT. A VMCV também é monitorada pelo CTRL do sistema de ar-condicionado para fins de desligamento e disparo de mensagens aos pilotos em caso de falha dessa válvula. (MOIR & SEABRIDGE, 2008) (KROES *et al*, 2013).

O esquemático de funcionamento da VMCV é mostrado na Figura 2. Em tracejado mostra-se também a VMT para fins de esclarecimentos.

Figura 2 – Esquemático da válvula de controle e medição de vazão.



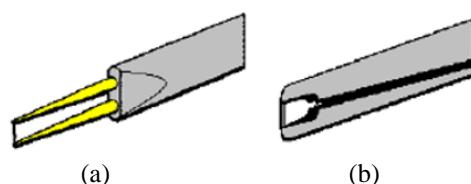
Fonte: Adaptado de KROES *et al*, 2013.

A vazão proveniente do escoamento misturado pela VMT passa pela VMCV onde a sua vazão é lida pela sonda de anemômetro de fio quente. Se o valor de vazão lida for diferente dos parâmetros de projeto, o controlador eletrônico da própria VMCV vai comparar esse valor recebido pela

sonda com os valores da curva velocidade (m/s) por tensão (Vdc) em uma espécie de *lookup table*, e vai enviar uma corrente correspondente à borboleta de regulagem de vazão da válvula. Essa borboleta de regulagem modula até a sonda de vazão atingir o valor adequado, buscando zerar o erro entre o valor medido e o valor de projeto (KROES *et al*, 2013).

A nova versão da VMCV apresenta uma sonda de medição de vazão instalada no mesmo local da sua versão original. No entanto, as dimensões da nova sonda são bem menores que as da versão original. Além disso, a nova sonda mudou de anemômetro de fio quente para placa de filme quente conforme Figura 3.

Figura 3 – Exemplo de sonda de fio quente. (a) Anemômetro de Fio Quente (b) Placa de Filme Quente.



Fonte: Adaptado de Eguti, 2013.

A diferença básica entre um tipo de sonda e outra é que a de anemômetro de fio quente, ilustrada na Figura 3 (a), corta o fluxo perpendicularmente, ficando de frente com o escoamento e o que vier nele, e a sonda de anemômetro de filme quente que tem os filamentos impressos em uma placa de circuito, fica paralela ao escoamento (EGUTI, 2013) (DELMÉE, 2003). Assim, constata-se que o anemômetro de filme quente não é sujeito a receber impacto direto de partículas transportadas pelo escoamento.

O motivo da substituição do tipo de sonda, de anemômetro de fio quente para filme quente, deve-se ao fato do escoamento proveniente do motor ser inherentemente suscetível a formação de condensação d'água, e em alguns casos de atmosfera, de pequenas pedras de gelo também, que ao serem transportadas pela corrente livre do escoamento principal entra em colisão com o minúsculo diâmetro do fio de tungstênio da sonda de anemômetro de fio quente, provocando erros de leitura instantâneo, além de diminuir a vida útil da sonda.

Após a instalação da nova válvula de medição e controle de vazão, com a sonda de anemômetro de filme quente no avião protótipo para a análise de engenharia, notou-se uma severa oscilação de vazão quando se baixava os dados de voo, vazão (kg/s) por tempo (s). Isso demonstrou ser inaceitável devido ao fato da borboleta de regulagem de vazão modular constantemente por muito mais vezes que a sua versão anterior, provavelmente por causa da leitura de vazão ficar fora da tolerância estabelecida pelo projeto original.

Outro efeito adverso totalmente indesejável, observado na análise de engenharia desse mesmo voo, foi taxas de admissão ($+kg/s$) e exaustão ($-Kg/s$) foram do especificado em projeto. Esse fenômeno acarreta dores ou desconfortos no ouvido em voos mais prolongados (KROES *et al*, 2013) (SAE, 2001).

II. METODOLOGIA

Neste artigo foram utilizadas 2 metodologias complementares para auxiliar na investigação de pesquisa de pane. Uma metodologia é a de diagrama de causa e efeito

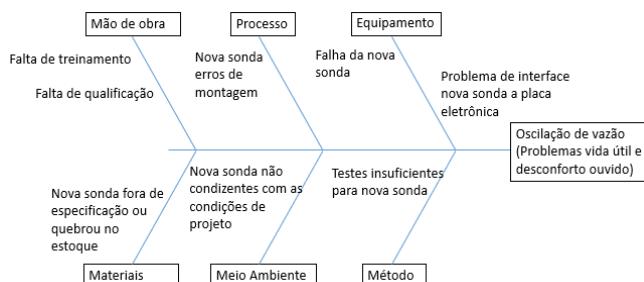
comumente utilizada na indústria em geral. A outra metodologia foi a utilização da ferramenta computacional CFD ANSYS *Discovery Live* para a melhor compreensão do escoamento dentro do contexto de funcionamento do sistema.

2.1 – Diagrama de causa e efeito

A primeira metodologia adotada identifica através do diagrama de Ishikawa possíveis responsáveis pelo problema de oscilação de vazão da nova válvula de medição e controle de vazão para sistema de ar-condicionado de aeronaves de pequeno porte.

O diagrama Ishikawa, ou “espinha de peixe”, ou diagrama de causa e efeito é comprovadamente uma ferramenta comumente utilizada para levantar as possíveis causas para o efeito percebido devido ao mau funcionamento do componente. Através da Figura 4, observa-se as possíveis causas para a ocorrência do erro de leitura na válvula de medição e controle de vazão (MACHADO *et al*, 2020).

Figura 4 – Diagrama de causa e efeito



Fonte: Adaptado de Machado *et al*, 2020.

Após uma avaliação das causas mais prováveis, apontadas na Figura 4, fez-se uma inspeção detalhada da válvula junto com um escrutínio de suas documentações de fabricação e registros de qualidade, não qual não se encontrou discrepâncias ou desvios.

Restou apenas avaliar em maiores detalhes do ramo método da Figura 4. Fez-se uma análise de todos os testes de qualificação que submetidos pela nova válvula, e constatou-se que ela foi aprovada sem desvios. Foram os mesmos testes submetidos a válvula original (SAE, 2008). Porém, o teste de funcionamento da nova válvula dentro contexto de funcionamento de todo o sistema de ar-condicionado foi apenas substanciado por similaridade.

Portanto, através do diagrama de Ishikawa da Figura 4, constatou-se que a nova sonda não funciona adequadamente instalada na mesma posição da antiga por questões relacionadas à substancialização por similaridade da nova válvula para o teste de integração.

2.2 – Ferramenta computacional ANSYS Discovery Live

Por questões de custo e prazo, provenientes de uma campanha de testes para pesquisa de pane, surge uma segunda metodologia através da utilização da nova ferramenta numérica computacional, ANSYS *Discovery Live*, para uma avaliação rápida e qualitativa do comportamento do escoamento para alguns cenários de operação da válvula a fim de observar algo que pudesse auxiliar na explicação do fenômeno de erro de leitura de vazão da válvula.

Sabe-se que tem existido uma demanda significativa para o uso da ferramenta de CFD ANSYS *Discovery Live* em fases preliminares ou iniciais de alguns projetos ou análises de engenharia devido à rapidez, aceitável precisão e simplicidade do uso da ferramenta. Nota-se que o próprio projetista ou engenheiro de projeto pode realizar as simulações numéricas qualitativas preliminares, no âmbito de análises estruturais, térmicas, modal e de escoamentos internos e externos para observação dos fenômenos físicos envolvidos na peça, componente ou sistemas simples.

A ferramenta do ANSYS *Discovery Live* é conhecida por apresentar a tecnologia sem-malha com base nas equações de Lattice Boltzman utilizando os recursos computacionais das placas de video do computador para a realização do cálculo numérico que é imediatamente apresentado em regime transiente na tela do computador (RESOLVED ANALYTICS, 2020) (CHOUGULE e SONDE, 2020).

O ANSYS *Discovery Live* possui as capacidades citadas logo abaixo (ANSYS DISCOVERY LIVE, 2020):

Análise Estrutural:

- Proporciona visualização rápida da resistência e rigidez de peças ou montagens;
- Proporciona visualização rápida da distribuição de estresse com rápidas alterações nas dimensões;
- Exploração rápida de diversos cenários de carregamentos;

Eescoamento Externo:

- Visualização do caminho que o fluido percorre em torno de um corpo;
- Visualização, exploração e modificação das zonas de recirculação do escoamento através de manipulação rápida dos sólidos;
- Obtenção de informações iniciais sobre tendências de queda de pressão, arrasto e sustentação;

Eescoamento Interno:

- Análise de perda de carga e velocidade do escoamento dentro de dutos ou determinados volumes internos;
- Obtenção de dados qualitativos para mistura térmica e dispersão do escoamento;

Análise Térmica:

- Compreensão da dissipação de calor por convecção ou condução em peças ou conjuntos;

Análise Modal:

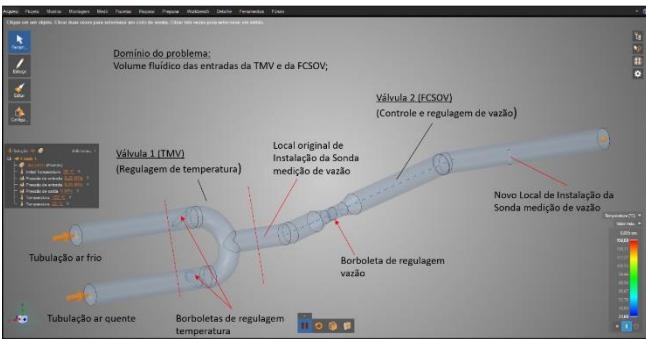
- Cálculo rápido de frequências naturais para peças e montagens;

A Figura 4 mostra que a demarcação do domínio do problema é composta pelo pequeno trecho reto das tubulações de ar frio e ar quente que veem respectivamente do trocador de calor e motor, da VMT e da VMCV.

Isso significa que se gera um volume das partes internas do circuito por onde o escoamento com o fluido de trabalho ar vai percorrer.

Os modelos da parte externa das válvulas, fios, conexões, ancoragens e controles eletrônicos não fazem parte do domínio citado no parágrafo acima relevante para a análise de CFD apresentada nesse artigo.

Figura 4 – Volume fluídico do domínio do problema



Fonte: Autores.

Um outro tipo de análise muito útil e possível de ser feito bem rapidamente através da ferramenta ANSYS *Discovery Live*, caso necessário, para complementar uma análise, é estimar o regime do escoamento na região onde a válvula borboleta que regula a vazão, dentro de uma garganta de Venturi, para averiguar se o escoamento está bloqueado quando se atinge Mach 1.

O número de Mach é um dos parâmetros mais utilizados para determinar se um escoamento de fluido compressível se tornou bloqueado, conforme as equações 1 e 2 (CENGEL & CIMBALA, 2015)

$$M = V/c$$

$$c = \sqrt{\gamma RT}$$

Onde, M é o número de Mach (*adm*), V é a velocidade do escoamento (m/s) e c é a velocidade do som (m/s). $\gamma=1,4$, C_p do ar (*adm*), $R_{ar} = 287 \text{ KJ/K}$ é a constante do ar e T é a temperatura do escoamento (K).

Há também diversas outras análises possíveis de serem feitas utilizando os resultados computados pela análise, tais como: número de Reynolds, perda de carga, gráficos de velocidade versus pressão através de linha de centro de um duto.

III. RESULTADOS E DISCUSÕES

As figuras 4 até 7 apresentam resultados qualitativos de uma análise numérica ou simulação de escoamentos internos contendo os campos de pressão, velocidade e temperatura, considerando as condições de contorno da Tabela 1, que representa uma das condições mais predominantes de operação da válvula.

Tabela 1 – Condições de contorno do problema.

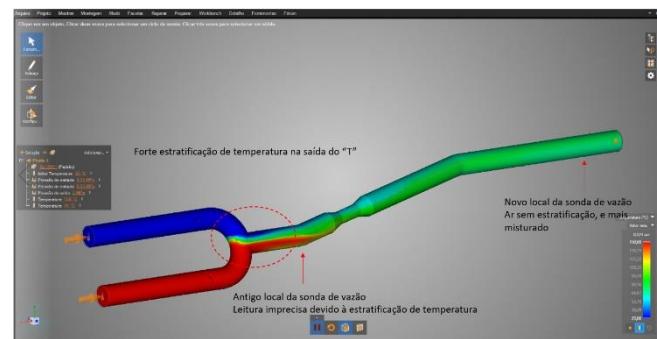
Local	Pressão (MPa)	Temperatura °C
Entrada Quente	0,25	150
Entrada Fria	0,25	25
Saída	0 (P ref.)	Temperatura mistura

A Figura 5 mostra a simulação numérica parametrizada com a indicação das temperaturas nos pórticos frio e quente. Constatase que a estratificação de temperatura, para essa condição predominante de operação, pode ser severa devido à mistura do ar quente a 150°C com o ar frio a 25°C.

A análise qualitativa de CFD utilizando o ANSYS *Discovery Live*, diferentemente das análises de CFD clássicas

e convencionais, na qual se utiliza o FLUENT ou CFX, como por exemplo o trabalho de Rodrigues *et al.*, (2020), não se considera as análises de interdependência de malha, modelos de turbulência, cálculo de camadas prismáticas para a captura de subcamada viscosa e escolha de algoritmos para o cálculo numérico. No entanto, foi possível inferir que a estratificação de temperatura, que sempre existiu desde a operação da válvula original, pode ter influência na ocorrência do problema de leitura de vazão da nova sonda de anemômetro de filme quente.

Figura 5 – Visualização da estratificação de temperatura

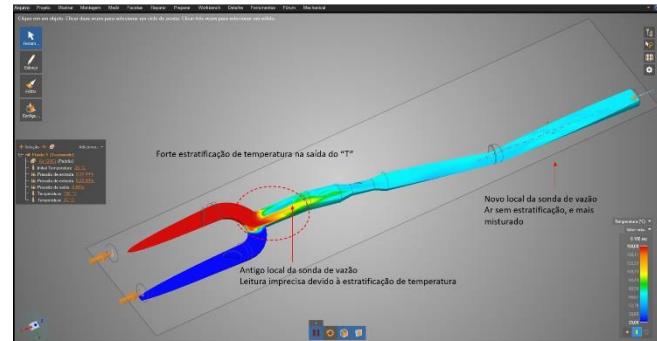


Fonte: Autores.

A Figura 6 também mostra a simulação numérica

- (1) parametrizada para as temperaturas dos pórticos frio e quente, porém, para efeito de melhor visualização, tem um plano que
- (2) corta a domínio fluídico para mostrar a secção transversal das válvulas VMT e VMCV.

Figura 6 – Visualização da estratificação de temperatura, plano de corte



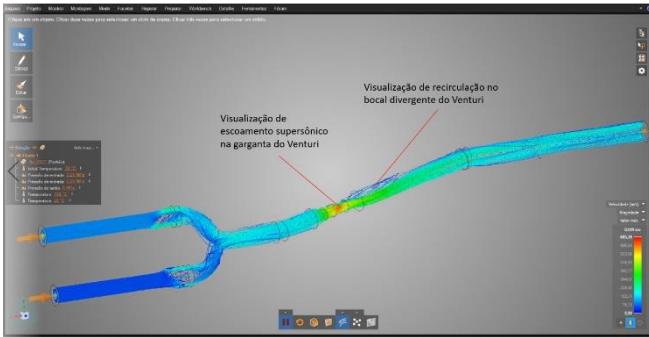
Fonte: Autores.

É possível observar através da Figura 7 que a simulação numérica mostra o campo de velocidade do escoamento inerente às diferenças de pressão de entrada e saída do domínio.

Nota-se um aumento da velocidade do escoamento do fluido de trabalho na região das borboletas de regulagem de temperatura da válvula VMT inerente à redução da área da secção transversal do duto (SONG *et al.*, 2011).

Também foi possível observar que há recirculação na região divergente do bocal do Venturi, inerente aos regimes de escoamentos supersônicos obtidos logo após a região de garganta do Venturi (escoamento bloqueado ou $M=1$) devido às diferenças de pressão entre a entrada e saída na ordem dos valores apresentados nesse artigo (ESLAMIAN, 2012).

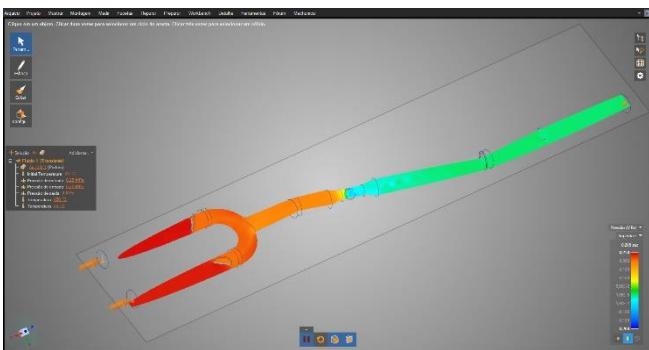
Figura 7 – Visualização do campo de velocidade do escoamento



Fonte: Autores.

É possível observar através da Figura 8 que a simulação numérica mostra o campo de pressões do escoamento devido às diferenças entre as pressões de entrada e de saída do domínio do problema.

Figura 8 – Visualização do campo de pressão do escoamento, plano de corte



Fonte: Autores.

A análise qualitativa do campo de escoamento mostrado na Figura 6 encorajou a equipe de engenharia à inverter em 180° a instalação da válvula VMCV para a realização de testes rápidos, deixando a sonda de medição de vazão posicionada a jusante da borboleta de regulagem de vazão onde o escoamento estava mais misturado quando comparado com a instalação original localizada à montante da borboleta de regulagem de vazão.

Após apresentar ao fabricante da válvula os resultados das simulações qualitativas de CFD junto com os resultados dos testes rápidos para a pesquisa de pane, pode-se constatar que a dimensão diminuta da nova sonda de anemômetro de filme quente, quando instalada na mesma posição da sonda original, lê diferentes temperaturas em virtude do escoamento ser turbulento e estratificado, que afeta a leitura da velocidade. De acordo com Eguti (2008), a leitura da velocidade no anemômetro de fio quente é sensível à temperatura do escoamento.

Se o fabricante da válvula tivesse realizado um teste preliminar, de desenvolvimento apenas, mesmo que não possuísse o rigor dos testes de qualificação, integração e certificação, poderia ter detectado tal sensibilidade da nova sonda aos escoamentos estratificados devido às diferenças de temperatura entre os pôrticos quente e frio da válvula VMT.

IV. CONCLUSÃO

A técnica de CFD qualitativo utilizada neste estudo mostrou-se eficiente para determinação da causa raiz do problema da oscilação de vazão acarretado pela estratificação de temperatura inerente às instalações e funcionamento do sistema de ar-condicionado de uma aeronave de pequeno porte.

Embora seja constatado que o uso essa ferramenta seja predominantemente destinada para as fases preliminares de projeto, em análises estruturais, térmicas, modais e escoamentos externos e internos, ela também auxiliou na pesquisa de pane descrita nesse artigo. Essa análise numérica qualitativa proporcionou uma economia de recursos tais como ensaios em laboratório e voo, reduzindo-se apenas para um ensaio de validação da solução.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSYS DISCOVERY LIVE. Disponível em : <https://www.ansys.com/about-ansys/advantage-magazine/volume-xi-issue-3-2017/ansys-discovery-live-real-time-simulation-revolution>. Acesso em 10 out 2020.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M., **Mecânica dos fluídos: fundamentos e aplicações**. 3º Edição, Ed. AMGH Ltda, 2015.

CHOUGULE, Abhijeet, SONDE, Ramakrishna R. **Design and Empirical Inquisition of Catalytic Combustor for Methanol Steam Reformer in HT-PEM Fuel Cell Systems**. IJEAT. ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-4, April 2020.

DELMÉE, G. J. 2003, **Manual de Medição de Vazão**, 3ª ed., Edgard Blucher.

EGUTI, A. C. C., 2005, **Desenvolvimento de um circuito eletrônico experimental de anemômetro de fio quente**, 2005, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira. Available from: Google Scholar: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/88878> [accessed 01 February 2019].

ESLAMIAN, Ehsan & SHIRVANI, Hassan & SHIRVANI, A., (2012). Numerical investigation of swirl flow inside a supersonic nozzle. WIT Transactions on Engineering Sciences. 74. 10.2495/AFM120121. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/266939391_Numerical_investigation_of_swirl_flow_inside_a_supersonic_nozzle/citation/download>

KROES, M. J. et al, **Aircraft maintenance & repair**, Mc Graw Hill Education, 7th Edition, 2013.

MACHADO. Vanessa Aparecida de Sá, GUIMARÃES, Luciano Lizardo Souza, SOUZA, Wallice Medeiros, RIOS, Eyko Medeiros. **Aplicação de ferramentas da qualidade na análise de falhas em mangueiras hidráulicas aplicadas a ROV**. Revista Sodebrás [on line]. v.16, n°174, Jun/2020, p. 124-128. ISSN 1809-3957. Disponível em: < <http://www.sodebras.com.br/edicoes/N174.pdf>>.

MOIR, I. and SEABRIDGE, A.; **Environmental Control Systems in Aircraft Systems: Mechanical, Electrical, and**

Avionics Subsystems Integration, John Wiley & Sons, Ltd.,
Chichester, UK, 2008.

RESOLVED ANALYTICS. Disponível em:
<https://www.resolvedanalytics.com/theflux/comparing-cfd-software-part-1-cad-embedded-cfd>. Acesso em 10 out 2020.

RODRIGUES, A.R.A, CALADO, C.R., SANTOS, E.R.R.
Análise da influência do comportamento do vento na eficiência de turbinas eólicas de eixo vertical utilizando CFD.
Revista Sodebrás [on line]. v.16, n°174, Jun/2020, p. 118-123. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N174.pdf>>.

SAE ARP 986 Rev.C. **Guide for qualification testing of aircraft air valves**, Copyright© SAE International, 2008.

SAE ARP 1270 Rev.B. **Aircraft Cabin Pressurization Criteria**, Copyright© SAE International, 2001.

SONG, X. G.; WANG, L.; PARK, Y., C.; Analysis and optimization of a butterfly valve disc, Proc. IMechE Vol. 223 Part E: J. Process Mechanical Engineering, 2011. DOI: 10.1243/09544089JPME236.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

ANÁLISE CIENTÍFICA A CERCA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO POVOADO DE BARRA GRANDE-PI

SCIENTIFIC ANALYSIS ON THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR LOCAL COMMUNITY IN BARRA GRANDE-PI

BENONE AGUIAR FILHO¹; JACYRA RODRIGUES¹; JOSÉ BEM¹; MARA MOURA¹

1 – UNIVERSIDADE FEDERAL DO DELTA DO PARNAÍBA

benone.aguiar10@gmail.com; jacyraffrodriques@gmail.com; josebem@ig.com.br; maraaguida@hotmail.com

Resumo – O estudo tem como finalidade abordar a análise científica da compreensão sobre o desenvolvimento sustentável no povoado de Barra Grande, no Piauí. Para tanto, foram enumerados trabalhos, através de seus resultados e análises, a fim de criar uma visualização acerca do desenvolvimento a partir de uma política de Gestão ambiental na localidade. Para isso, este trabalho tem como objetivo analisar cientificamente a percepção sobre o desenvolvimento sustentável na comunidade de Barra Grande. Quanto a metodologia utilizada, está caracterizada como uma pesquisa básica com abordagens qualitativa e quantitativa, com objetivos descritivos e procedimentos documentais. Constatou-se que, a falta de infraestrutura básica para atender a população e os visitantes bem como uma política adequada de Gestão ambiental, têm sido os principais fatores que limitam um possível desenvolvimento local sustentável.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Gestão Ambiental. Barra Grande.

Abstract - The study aims to address the scientific analysis of understanding about sustainable development in the village of Barra Grande, Piauí. For that, works were enumerated, through their results and analyzes, in order to create a visualization about the development from an environmental management policy in the locality. To this end, this work aims to scientifically analyze the perception of sustainable development in the community of Barra Grande. As for the methodology used, it is characterized as a basic research with qualitative and quantitative approaches, with descriptive objectives and documentary procedures. It was found that the lack of basic infrastructure to serve the population and visitors, as well as an adequate environmental management policy, have been the main factors that limit a possible sustainable local development.

Keywords: Sustainable development; Environmental management; Barra Grande.

I. INTRODUÇÃO

Os estudos acerca do desenvolvimento sustentável são razoavelmente recentes, uma vez que se trata de um tema que vem ganhando espaço não apenas no meio acadêmico, mas importância nos meios de comunicação, nos discursos políticos e em campanhas de educação ambiental

(MORETTO, MORES, ANTONI, CAPACCHI 2008, p.3). Dessa forma, é importante analisar e compreender o desenvolvimento sustentável e suas implicações para a sociedade.

“O desenvolvimento sustentável é um processo de aprendizagem social de longo prazo, que por sua vez, é direcionado por políticas públicas orientadas por um plano de desenvolvimento nacional. Desse modo, a pluralidade de atores sociais e interesses presentes na sociedade colocam-se como um entrave para as políticas públicas para o desenvolvimento sustentável” (BEZERRA; BURSZTYN, 2000 apud BARBOSA, 2008, p. 6). Nesse sentido, “na busca pela construção de rumos alternativos para a história os construtos das concepções e práticas de desenvolvimento sustentável têm se apresentado presentes em organismos internacionais, instituições de caráter público e até mesmo em empresas privadas” (OLIVEIRA, 2007, p. 7).

Sachs diz que (2002, p. 58) citado por Moretto, Mores e Capacchi (2008, p. 6) “a sustentabilidade do desenvolvimento é um desafio planetário, que busca conciliar o interesse produtivo, principalmente, em termos de comércio internacional e o meio ambiente, com o objetivo de conciliar os interesses de políticas sociais e ambientais”. Nessa perspectiva, é importante estudar o desenvolvimento sustentável como um processo de progresso local. O desenvolvimento local tem que ser visto como um movimento contínuo de busca para resolver problemas a partir de uma política de participação e envolvimento social (FAGUNDES; FAGUNDES, 2018 p.4).

Para Buarque (2002 p.25), o desenvolvimento local, é compreendido como um processo endógeno de mudança, o que acaba levando à dinâmica econômica e à melhora na qualidade de vida da população em pequenas unidades territoriais e agrupamentos humanos. Nesse pensamento, Fagundes e Fagundes (2018) destacam que:

Nesta perspectiva, a promoção do desenvolvimento é orientada pelas necessidades e vontades dos atores locais. A observância das potencialidades de cada região ou território pretende articular inovações que promovam ações coletivas de melhoria na renda e nas condições de bem-estar. Fator

determinante para criar condições de liberdade para as comunidades (FAGUNDE; FAGUNDES, 2018, p. 4)

Na busca de exemplificar o desenvolvimento local sustentável, o povoado de Barra Grande, no litoral do Piauí, torna-se um importante campo para estudos, visto que nele, o constante crescimento das atividades econômicas advindas do turismo põe em destaque a comunidade na região. Macêdo e Ramos (2012), ressaltam o seguinte sobre Barra Grande:

“constitui a praia litorânea do município de Cajueiro da Praia que é mais visitada pelos turistas, sendo a única praia do município que possui estrutura receptiva de pousadas, bares e restaurantes, associação de guias e condutores, por possuir uma grande área apropriada ao banho de mar e ao aproveitamento dos ventos alísios, para a prática do esporte kitesurf”(MACÊDO, RAMOS,p.45, 2012).”

Desse modo, tendo como base o espaço local enquanto campo privilegiado de estudos para entender o desenvolvimento sustentável como um conceito amplo do dinamismo global, indaga-se: quais barreiras dificultam o desenvolvimento sustentável no povoado de Barra Grande (PI)?

Para tal, o objetivo geral do presente estudo é analisar cientificamente a percepção de pesquisadores sobre o desenvolvimento sustentável na comunidade de Barra Grande. Com os objetivos específicos de enumerar autores que estudam o cenário econômico, social e ambiental de Barra Grande e analisar a compreensão desses autores sobre os fatores que implicam no progresso local.

As informações da pesquisa justificam-se pela importância econômica que a comunidade de Barra Grande tem adquirido nos últimos anos, tanto dentro da região do litoral piauiense quanto da Área de Proteção Ambiental do delta do rio Parnaíba, devido a atividade do turismo.

Ainda neste sentido Eber (2010) afirma que:

“Todo e qualquer avanço neste tipo de tecnologia necessita profundos conhecimentos técnicos e científicos a fim de trazer os conhecimentos para o dia a dia da população (EBER, p.45, 2010).”

II. METODOLOGIA

O presente estudo está caracterizado como uma pesquisa básica com abordagens qualitativa e quantitativa, com objetivos descritivos e procedimentos documentais. Ademais, para a coleta de dados foi completada a exploração em documentos diversos acerca do tema, a fim de contextualizar o cenário sociocultural e econômico do povoado de Barra Grande – PI.

Partindo de sua natureza, a pesquisa pode ser classificada em básica ou aplicada. Neste estudo trata-se de uma pesquisa básica, que “objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da Ciência, sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais” (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 34). Além disso, “permite articular conceitos e sistematizar a produção de uma determinada área de conhecimento”, diz Minayo (2002, p. 52).

Quando a forma de abordagem a pesquisa está classificada em qualitativa. De acordo com Silva e Menezes (2005, p. 20), “a pesquisa qualitativa considera que há uma

relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números”. Portanto, a pesquisa qualitativa atenta-se para os aspectos da realidade que não podem ser quantificados, direcionando-se na compreensão e na explicação da dinâmica das relações sociais (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto aos objetivos, o estudo classifica-se como descritivo. Nesse aspecto, Vergara (2007) pontua a pesquisa descritiva como aquela que expõe as características de determinada população ou de determinado fenômeno. Assim, este tipo de pesquisa pretende “descrever com exatidão os fatos e fenômenos de determinada realidade” (TRIVIÑOS, 1987, p. 100).

No que diz respeito aos processos técnicos, a pesquisa caracteriza-se como bibliográfica. Para Fonseca (2002, p. 32) “a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites”. Já Treinta et al (2012, p. 2) diz que esse tipo de pesquisa “busca identificar o que foi produzido de conhecimento pela comunidade científica sobre esse tema e, ao mesmo tempo, avaliar as principais tendências da pesquisa sobre ele”.

Nesse aspecto, Gil (2007) destaca que os exemplos que são mais característicos desse processo de pesquisa são as investigações sobre ideologias ou aqueles que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema. Desse modo, a pesquisa bibliográfica foi utilizada nesse estudo para investigar as barreiras, observadas por estudos anteriores, que distanciam o povoado de Barra Grande (PI) do desenvolvimento local sustentável.

III. RESULTADOS

Para averiguar as barreiras que impossibilitam o desenvolvimento sustentável no povoado de Barra Grande, serão analisadas as conclusões de autores acerca do tema. Tais conclusões, deram-se a partir dos resultados obtidos em suas pesquisas anteriormente elaboradas apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Conclusão dos autores sobre o desenvolvimento sustentável em Barra Grande (PI)

Autores/Ano	Conclusão
Cunha et al (2016 p.168)	A pesquisa possibilitou conhecer os efeitos ocasionados pela atividade do turismo, o que dá base à identificação das falhas e dos acertos, sendo possível a adoção de um plano que objetivasse a construção de um planejamento participativo, ideal para o desenvolvimento sustentável da atividade. Em consequência, a pesquisa evidenciou as muitas faces do modelo de turismo global e que é largamente desenvolvido em Barra Grande, provocando uma discussão acerca da exclusão social dos nativos, o que demonstra um cenário contraditório quando às inúmeras possibilidades de desenvolvimento do lugar por meio do turismo. Assim, sobram impactos: aumento e acúmulo do

	lixo, elevação no preço dos produtos de consumo básicos, especulação imobiliária, entre outros. Tudo isso interfere, diretamente, nos índices de qualidade de vida dos nativos.		ambientais negativas: a poluição do ar, contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas pelo lixão a céu aberto existente, e ainda, pelo tratamento dos dejetos por meio de fossas rudimentares, única modalidade utilizada na área. Os impactos ambientais causados pela falta se saneamento somados a outros influenciam diretamente no desequilíbrio do sistema ambiental da região estudada, pois não estão de acordo com o estudo de IDS do IBGE. No caso do lixo, com o aumento da produção nos períodos de maior fluxo de turistas e a ausência de local para tratamento adequado, há um impacto direto nas áreas de mangue, tendo em vista que o lixão da comunidade se situa nos arredores.
Carvalho (2010 p.491)	De acordo com esta pesquisa, ficou comprovado que o turismo está sendo mais desenvolvido no povoado Barra Grande, que foi a 1ª localidade do município de Cajueiro da Praia a atrair visitantes, o que provocou um aumento da oferta de serviços no povoado, e consequentemente, a geração de empregos e renda. Porém, nesta localidade, o turismo já trouxe impactos negativos que foram percebidos pela maioria da população, e que se não forem tomadas medidas rápidas pode trazer provocar efeitos irreversíveis, prejudicando a continuidade do desenvolvimento turístico local.		Fonte: Adaptado pelos autores de acordo com Cunha et al (2016); Carvalho (2010); Vieira; Araújo (2015); Cunha e Silva (2018); e Vieira; Lopes; Araújo (2019).
Vieira; Araújo (2015 p.491)	No caso de Barra Grande, políticas poderiam estimular a adoção de medidas ambientais efetivas pelos empreendimentos turísticos, que apresentam problemas com a eliminação dos dejetos e destino dos resíduos sólidos, o que favoreceria a gestão ambiental nessas organizações. [...] Assim destaca-se que ações voltadas para a manutenção do ecossistema local acontecem, mas não contemplam tudo o que é estabelecido nos documentos elaborados, um exemplo disso é a falta de monitoramento da gestão ambiental nos meios de hospedagem.		. Cunha <i>et al</i> (2016) fazem uma análise a partir da observação da atividade turística, principal setor econômico da região, possibilitando uma correlação entre o desenvolvimento e o impacto para a comunidade e o meio ambiente. Segundo esses autores, tal atividade acaba sendo contraditória, visto que, em vez de colaborar para o desenvolvimento local, ela acarreta efeitos negativos para a população nativa, tais como aumento dos preços de produtos e especulação imobiliária, além de implicações ambientais, como o aumento e acúmulo do lixo.
Cunha; Silva (2018 p.491)	Do ponto de vista das pessoas, ficaram evidenciadas as críticas quanto aos prejuízos identificados como diretamente decorrentes da implantação de atividades regulares e massivas do turismo na localidade. Foram apontados os efeitos prejudiciais à sociedade local e ao meio ambiente, pois se trata de uma atividade econômica que faz uso ostensivo das relações sociais, do solo, da água e da paisagem para o seu melhor desempenho e consolidação econômica. Essa realidade configura um quadro de multifuncionalidade do espaço rural, conforme as categorias analíticas permitem enxergar.		Continuando pelo óptica do turismo, Carvalho (2010) destaca a importância da atividade para a geração de emprego e renda para a comunidade. Todavia, a autora salienta a necessidade da promoção do turismo sustentável, uma vez que, como está evidenciado na pesquisa, os impactos poderão ser irreversíveis para a população, o que prejudicará a continuidade da própria atividade.
Vieira; Lopes; Araújo (2019 p.491)	Constatou-se que a realidade dos serviços de infraestrutura básica, referentes à água, tratamento de dejetos, coleta e destinação do lixo em Barra Grande é bastante precária. O fato é que a ausência de saneamento básico por si só é um problema de dimensão preocupante. Nessa perspectiva, pode-se citar como consequências		Já Vieira e Araújo (2015) e Cunha e Silva (2018), apesar de continuarem na visão da prática do turismo, analisam o desenvolvimento sustentável através da falta de planejamento e gestão ambiental em Barra Grande. “O sujeito do desenvolvimento sustentável são as forças sociais e econômicas, operando sob autogestão e atuando em redes sociais e econômicas solidárias” (MANCE, 2008, p.3). Nesse contexto, como é destacado pelos autores, a falta de políticas, de monitoramento de gestão ambiental e de medidas ambientais efetivas ocasionam implicações negativas no âmbito social, no ecossistema e nas atividades econômicas, além de dificultar o próprio desenvolvimento local.

IV. CONCLUSÃO

Estudar o desenvolvimento sustentável na perspectiva local não é uma tarefa simples, uma vez que esse desenvolvimento depende de fatores externos que acarrentam, muitas vezes, em barreiras que dificultam o progresso. “O local não é sustentável se não encontrar espaços de competitividade e depender, de forma continuada e persistente, de subsídios e transferência de fora da região” (BUARQUE, 2008, p. 27).

Assim, é necessário compreender o desenvolvimento sustentável com parte de uma política de gestão ambiental que, ao tempo que mantém o equilíbrio ecológico regional, integra a população nativa em uma economia de sustentabilidade. “O desenvolvimento local deve ser visto como um diálogo contínuo de busca para resolução de problemas a partir de política de participação e envolvimento social” (FAGUNDES; FAGUNDES, 2018, p. 4).

A fim de atender o objetivo geral do trabalho, analisou-se a conclusão e a percepção dos autores a cerca dos fatores que impossibilitam o desenvolvimento sustentável no povoado de Barra Grande. Desse modo, com essa discussão, contribui-se averiguar e apontar pontos que devem ser melhorados para tornar possível progresso econômico, social e ambiental na região.

No caso de Barra Grande, observa-se, explicitamente, que a falta de infraestrutura adequada se apresenta como o principal desafio na busca pelo desenvolvimento sustentável, uma vez que esta implica em outros fatores, como a exclusão e não participação social no crescimento regional, e em prejuízos ao meio ambiente, ocasionados principalmente pela falta de gestão do lixo e monitoramento dos empreendimentos. Ademais, acarreta em problemas econômicos também, já que prejudica a atividade turística, que é a principal fonte de renda da comunidade.

Como limitações deste estudo, destacam-se a pequena utilização de autores que discutem o problema do desenvolvimento de Barra Grande e a escassez de trabalhos fora da área do turismo. Por tanto, indica-se, a estudos futuros, um aprofundamento da pesquisa, utilizando um número maior e mais diferenciado de autores, com visão voltada para a gestão ambiental.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. DA S. Mecanismos de gestão da APA Delta do Parnaíba, Piauí, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 913-920, 27 out. 2016
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Legislação Ambiental Básica**. e. Consultoria Jurídica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, UNESCO, 2008.
- BARBIERI, J. C. **GESTÃO AMBIENTAL EMPRESARIAL: Conceitos, métodos e instrumentos**. 3^a ed. atual e ampliada, São Paulo: Saraiva, 2011.
- BARBOSA, G. S. **O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Visões (Rio de Janeiro. Impresso), v. 4, p. 63-72, 2008.
- BARBOSA, M. S.; KRAVETZ, M. C. **GESTÃO AMBIENTAL NA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA**. Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade, vol. 3, no. 2, pp. 5–20, 2013.
- BUARQUE, S. C. **CONSTRUINDO O DESENVOLVIMENTO LOCAL SUSTENTÁVEL**. 4^a ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- CARVALHO, S. M. S. **A Percepção do Turismo por Parte da Comunidade Local e dos Turistas no Município de Cajueiro da Praia – PI**. Turismo em análise, vol. 21, n. 3, dezembro, 2010.
- CHAVES, D. A.; CASTELLO, R. N. **O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RESPONSABILIDADE SOCIOAMBIENTAL EMPRESARIAL**. In: X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.
- CUNHA, J. M. A.; IBIAPINA, M. M.; SANTOS, F. F.; ROCHA, R. R. N.; SILVEIRA JÚNIOR, J. G. **TURISMO (IN)SUSTENTÁVEL EM BARRA GRANDE (PI): CONFLITOS, IMPACTOS, DESIGUALDADE E EXCLUSÃO SOCIAL**. Revista Geografar, Curitiba, v.11, n.1 (V CBEAGT), p.152-173, jul./2016.
- CUNHA, J.M.A.; SILVA, M.V. **O turismo global em Barra Grande (PI): novos processos socioculturais, multifuncionalidade e pluriatividade no espaço rural**. Revista Brasileira de Ecoturismo, São Paulo, v.11, n.2, mai/jul 2018, pp.273-301.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A QUESTÃO AMBIENTAL: Diferentes Abordagens**. 6^a ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- FAGUNDES, J. P.; FAGUNDES, L. Z. **O Desenvolvimento Local e a Economia Sustentável: Estudo de caso de uma cooperativa**. VI Simpósio da Ciência do Agronegócio. Porto Alegre, 2018.
- FLORIANO, E. P. **POLÍTICAS DE GESTÃO AMBIENTAL**. Santa Maria: UFSM-DCF, 2007.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- GERHARDT, T. E; SILVEIRA; D. T. **Métodos de Pesquisa**. 1^a ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009. E-book.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- HJORT, L. C.; PUJARRA, S.; MORETTO, Y. **ASPECTOS DA GESTÃO AMBIENTAL PÚBLICA E PRIVADA: ANÁLISE E COMPARAÇÃO**. Revista Ciência, Tecnologia & ambiente, v. 3, n. 1, 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/cajueiro-da-praia/panorama>>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Plano de Gestão e Diagnóstico Geoambiental e Socioeconômico da APA Delta do Parnaíba**. Fortaleza: IEPS/UECE, 1998.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Área de Proteção Ambiental Delta do Parnaíba**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/visitacao1/unidades-abertas-a-visitacao/9411-area-de-protecao-ambiental-delta-do-parnaiba>>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.
- LIMA, G. C. **O DISCURSO DA SUSTENTABILIDADE E SUAS IMPLICAÇÕES PARA A EDUCAÇÃO**. Ambiente & Sociedade – Vol. VI nº. 2 jul./dez. 2003.
- LIMOND, E.; ALVES, J. **ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL E ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE COMO INSTRUMENTO LEGAL DE REGULAÇÃO URBANO-AMBIENTAL ?**. IV Encontro Nacional da ANPPAS, Brasília, 2008.

- MACÊDO, E. M.; RAMOS, R. G. **O DESENVOLVIMENTO DO TURISMO EM BARRA GRANDE, PIAUÍ (BRASIL) E SEU SIGNIFICADO PARA A COMUNIDADE LOCAL.** Revista Ibero-americana de Turismo – RITUR, Penedo, vol. 2, n.2, p. 89-107, 2012.
- MANCE, E. A. **Desenvolvimento Local Sustentável: Conceitos e Estratégias.** Brasília, 2008. Disponível em: <http://solidarius.com.br/mance/biblioteca/Desenvolvimento_Loca_l_Sustentavel-Conceitos_e_Estrategias.pdf>. Acesso em: 07 de novembro de 2019.
- MEYER, M. M. **GESTÃO AMBIENTAL NO SETOR MINERAL: um estudo de caso.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MIKHAILOVA, I. **SUSTENTABILIDADE: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS E OS PROBLEMAS DA MENSURAÇÃO PRÁTICA.** Revista Economia e Desenvolvimento, n° 16, 22-41: 2004.
- MINAYO, M. C. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade.** Petrópolis, Vozes, 2002.
- MORETTO, C. F.; MORES, G. V.; ANTONI, V. L. ; CAPACCHI, M. **O Desenvolvimento Sustentável na Perspectiva Local: a percepção do sentido de sustentabilidade pelos residentes do município de Passo Fundo.** In: Encontro de Economia Gaúcha, 2008, Porto Alegre. 4º Encontro de Economia Gaúcha. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008.
- NASCIMENTO, L. F. **GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE.** Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2012.
- OLIVEIRA, C. M. **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:** Uma discussão ambiental e social. In: III Jornada Internacional de Políticas Públicas, 2007, São Luís. CD, 2007.
- OLIVEIRA, W. R.; SILVA, E. V. **GEOGRAFIA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA PRÁTICA DO TURISMO SUSTENTÁVEL: A APA DO DELTA DO PARNAÍBA.** Revista Equador (UFPI), Vol.5, n°2, p. 61 – 74, Janeiro/Junho, 2016.
- PIAUÍ. **Cajueiro da Praia é a cidade com o maior cajueiro do mundo.** Disponível em: <<http://www.pi.gov.br/materia/conheca-o-piaui/cajueiro-da-praia-e-a-cidade-com-o-maior-cajueiro-do-mundo-1052.html>>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.
- RABELO, L. **INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE: A possibilidade do Desenvolvimento Sustentável.** Fortaleza: PRODEMA, UFC, 2008.
- SACHS, I. **ESTRATÉGIAS DE TRASIÇÃO PARA O SÉCULO XXI – DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE.** São Paulo: Studio Nobel – Fundação para o desenvolvimento administrativo, 1993.
- SACHS, I. **DESENVOLVIMENTO: INCLIDENTE, SUSTENTÁVEL, SUSTENTADO.** Rio de Janeiro: Garamond, 2004.
- SILVA, A. M. S.; ROCHA, R. R. N. **UMA REFLEXÃO SOBRE TURISMO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA APA DELTA DO PARNAÍBA/PI – ROTA DAS EMOÇÕES.** Revista Turismo: Estudos & Práticas (RTEP/UERN), Mossoró/RN, vol. 3, n. 1, jan./jun. 2014.
- SILVA, C. L. **PROPOSTA DE UM MODELO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.** In: SILVA, C. L. (Org.). **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: um modelo analítico integrado e adaptativo.** Rio de Janeiro: Vozes, 2006.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4ª ed. ver. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.
- TACHIZAWA, T.; ANDRADE, R. O. B. **GESTÃO SOCIOAMBIENTAL: ESTRATÉGIAS NA NOVA ERA DA SUSTENTABILIDADE.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- TREINTA, F.T; FILHO, J.R.F; SANT'ANNA, A.P; RABELO, L.M. **Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão.** Produção, Niterói, 2012.
- TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.
- VALLE, C. E. **QUALIDADE AMBIENTAL: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo: Pioneira, 1995.
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 9 ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- VIEIRA, A. F.; ARAÚJO, J. L. L. **Turismo e sustentabilidade ambiental na comunidade de Barra Grande, Cajueiro da Praia, Piauí (PI).** Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo. São Paulo, 9(3), pp. 519-536, set./dez. 2015.
- VIEIRA, A.F.; LOPES, W.G.R.; ARAÚJO, J.L.L. **Indicadores ambientais aplicados ao turismo: um estudo na comunidade de Barra Grande, Cajueiro da Praia (PI).** Revista Brasileira de Ecoturismo, São Paulo, v.12, n.2, mai/jul 2019, pp.274-294.
- WILLUMS, J. O.; GOLÜKE, U. **FROM IDEAS TO ACTIONS: BUSINESS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT.** Norway: Enger Boktrykkeri, 1992. In:
- NASCIMENTO, L. F. **GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE.** Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2012.
- ZANATTA, P. **Gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável.** Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 6, p. 296-312, 2017.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

ATUALIZAÇÃO CURRICULAR NO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO BASEADO NA GESTÃO DO CONHECIMENTO

CURRICULUM UPDATE IN BACHELOR'S DEGREE IN ADMINISTRATION BASED ON MANAGEMENT KNOWLEDGE

DIEGO MISael DA SILVA MOTTA; PAULA DEL PRIORE; SANDRA JOYCE SILVA DE SOUZA ; VALMIR DE SANTANA SANTOS JUNIOR

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

dieggomotta@yahoo.com, priorepd@gmail.com, sandrajoycesouza@gmail.com, valmirss@hotmail.com

Resumo – Frente aos cenários digitais, constantes mudanças e descobertas tecnológicas existe uma necessidade de adaptação em todos os aspectos que envolvem a economia, os governos, as empresas, as sociedades e os indivíduos, não sendo diferente no ensino desde sua base até a formação superior. O objetivo deste trabalho é compreender a necessidade de uma atualização curricular na graduação no curso de Administração através da gestão do conhecimento para que o profissional continue o processo dentro das organizações respondendo as necessidades contemporâneas do mercado de trabalho.

Palavras-chave: inovação curricular. gestão do conhecimento. conhecimento compartilhado.

Abstract – In face of digital scenarios, constant changes and technological discoveries, there is a need for adaptation in all aspects of economy, governments, companies, societies and individuals, with no difference in education from its base to higher education. The objective of this paper is to understand the need for a curriculum update in the Bachelor's degree in the Administration course through management knowledge, so that the professional continues this process within organizations, responding to the contemporary needs in the job market.

Keywords: curriculum innovation. management knowledge. sharing knowledge.

I. INTRODUÇÃO

Através deste trabalho orientado pelo viés da reflexão e ação especulativa este ensaio teórico inicia o estudo com a contextualização do cenário contemporâneo que foi e, continua sendo impactado pela quarta revolução industrial que transformou a sociedade em todos os seus aspectos e modificou o mundo empresarial. Com estas modificações no mundo empresarial o problema de pesquisa busca compreender a necessidade de atualização do currículo do curso de graduação em Administração à luz da gestão do conhecimento para formar profissionais com características e habilidades alinhadas as necessidades contemporâneas, necessidades estas que são resultado de muitas mudanças, inovações e transformações do século XXI. O objetivo deste trabalho é analisar a necessidade de uma atualização curricular na graduação no curso de Administração através da gestão do conhecimento para que o profissional continue o processo dentro das organizações mundo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Unesco (1998), publicou a Declaração Mundial sobre Educação Superior para o Século XXI: Visão e Ação, que versa sobre as mudanças e transformações da sociedade e a grande demanda e diversificação necessária na educação superior destacando sua importância vital para o desenvolvimento cultural e socioeconômico visando a construção do futuro com os quais os jovens devem estar preparados com novas habilidades, conhecimentos e ideais. As rápidas inovações, resultado das tecnologias de informação e comunicação (TICs) fazem parte da Quarta Revolução Industrial que na visão de Schwab (2016) modifica toda a sociedade , já modificou e modificará a forma como vivemos, trabalhamos, estudamos, como nos relacionamos, impactando a economia, os negócios, a sociedade e os indivíduos em nível nacional e global.

Conforme Schwab (2016) um impacto mais amplo, profundo e com velocidade muito diferente das outras revoluções industriais que tiveram maior impacto na evolução da indústria em si, a Quarta Revolução tem uma enorme abrangência, alterando o mundo do trabalho, do modo de viver, das relações pessoais e por consequência no campo da educação formal havendo a necessidade de modificar e adaptar o cenário educacional em todos os níveis. O objeto de estudo deste trabalho é o ensino superior mais especificamente na graduação em Administração. Frente aos novos cenários e projeções de carreira o conteúdo curricular necessita de adaptação, atualização e modernização não somente pensando nos assuntos abordados como também nos recursos que podem ser modernizados através do uso de novas tecnologias, bem como a postura dos atores que participam do processo de ensino aprendizagem : discentes, docentes, Instituição de Ensino Superior (IES), empresas parceiras, etc.

Schwab (2016) menciona o trabalho de dois pesquisadores da Oxford Martin School, o economista Cari Benedikt Frey e o especialista em aprendizagem automática Michael Osborne que realizaram um estudo quantitativo sobre o efeito da inovação tecnológica no desemprego. Eles pesquisaram as profissões que constam no programa de declaração do Imposto de Renda dos USA e as classificaram

quanto a probabilidade de sua automatização. Concluíram que cerca de 47% do emprego total dos EUA está em risco. Resultado esse, segundo Frey e Osborne não está relacionado apenas a tecnologia e automação, mas sim ao impacto das tecnologias digitais, físicas e biológicas que alteram e alterarão a maneira como vivemos em todos os aspectos. Apresenta-se aqui um cenário onde líderes empresariais, governamentais e da educação necessitam desenvolver modelos de formação acadêmica diferente dos modelos atuais que seguem um padrão passivo de ensino e aprendizagem. Corroboram com essa visão Oliveira, Catani e Dourado (2001) quando defendem que “na ótica empresarial tem prevalecido o entendimento de que os novos perfis profissionais e os modelos de formação exigidos atualmente pelo paradigma de produção capitalista podem ser expressos, resumidamente, em dois aspectos: polivalência e flexibilidade profissionais” adiciona-se a esta polivalência e flexibilidade, habilidades cognitivas, afetivo emocionais, de atitudes e valores Masetto(2010).

Lengel (2013) professor e consultor de novas tecnologias aplicadas ao ensino e aprendizagem da *University of New York*, vincula a educação às revoluções industriais delimitando três momentos da educação 1.0, 2.0 e 3.0 que refletem as necessidades dos trabalhadores de cada época. Passamos assim da sociedade agrária, com base na agricultura, evoluindo para sociedade industrial com base na fábrica chegando, ao que vivemos hoje, à sociedade do conhecimento onde a informação e o conhecimento se tornam a base mais significativa.

Junqueira e Padula (2017), abordam a necessidade de modernização do ensino superior frente a nova configuração da sociedade que está cada dia mais digital e em rede tendo todos os participantes da esfera ensino aprendizagem interligados em redes sociais na internet influenciando assim as relações educacionais.

Adiciona-se a este cenário de rápida e profunda transformação de impacto sistêmico, a publicação do Mapa do Ensino Superior 2018. Mapa este elaborado pelo Fórum Nacional da Educação do Ensino Superior (FNES) que é promovido pelo Conselho Nacional de Educação (CNE), publicado em Setembro 2018 contempla entre outras coisas a divulgação de uma lista de cursos que, caso não sejam reestruturados, podem ser extintos até 2030, dentre eles: Direito, Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Enfermagem, Ciências Contábeis, Administração. Este mapa reflete a necessidade de mudança para que os estudantes atendam ao mercado de trabalho, empresas e sociedades em constantes e rápidas mudanças justificando assim a discussão deste artigo sobre os rumos da educação superior no campo da Administração.

Algumas iniciativas já estão acontecendo no Brasil tais como o prêmio da Associação Nacional dos Cursos de Graduação em Administração (Angrad) que tem por objetivo reconhecer as instituições de ensino superior através de seus coordenadores, docentes, discentes que implementaram um processo inovador no ensino e aprendizagem nos cursos de Administração no Brasil de forma a contribuir com a melhoria da qualidade das instituições de ensino superior. Sadao (2019) reúne o relato 22 experiências inovadoras de ensino e aprendizagem em Administração no Brasil que foram eleitas como melhores casos e receberam o prêmio Angrad. Basicamente o que os casos tem em comum é o contexto de currículo inovador, que segundo Masetto (2018) é um “conjunto de mudanças e

adaptações que afetam o currículo nos seus eixos construtivos (contexto, intenção, protagonistas, estrutura curricular e gestão) em todas as suas dimensões, de modo simultâneo e sinérgico” e a captura das necessidades ou carências da comunidade, das empresas que estão no entorno da IES trazendo benefícios de troca de ajuda e informação para todos os atores: docentes, discentes, empresários, gestores, funcionários e instituições parceiras.

III. INOVAÇÃO CURRICULAR

A inovação curricular pode ser entendida como um conjunto de mudanças e adaptações ao plano de estudos das instituições de ensino para oferecer respostas novas as atuais necessidades na formação de profissionais.

Segundo Masetto e Gaeta (2016):

“o Currículo se manifesta como um ordenamento sistêmico formal no tempo e no espaço, de ações coletivas e individuais de aprendizagem, relacionadas a experiências e vivências significativas da vida humana em seus diferentes momentos e necessidades, de forma individual e coletiva, trabalhando com conteúdo (informações e conhecimentos), métodos e técnicas, numa interação entre professores, gestores, alunos, programas e ambientes destas vivências.”

O mapa conceitual da inovação em currículo concatena os vários componentes que estão englobados no conceito de currículo inovador, impactam e são impactados pelas mudanças em um curso do ensino superior tendo como eixo principal o contexto, a gestão, os protagonistas e a estrutura curricular.

De acordo com Masetto (2018), o contexto do currículo inovador compreende três tempos, sendo eles o ponto de partida, a origem e a história da instituição. O ponto de partida é justamente o momento histórico em que estamos com as mudanças ocorrem de maneira rápida. Houve o surgimento de uma pandemia nomeada Covid-19 que fez modificar o modo de agir e viver da sociedade mundialmente. A origem refere-se ao diagnóstico da situação atual versus o que o curso oferece e quais são as lacunas a serem desenvolvidas para atender as necessidades do mercado atual. E a história da instituição traz à tona o processo histórico da instituição, sua missão, visão e valores, seus projetos e principalmente sua visão de continuar participando e colaborando com a educação superior.

A gestão educacional envolve três elementos importantes: infraestrutura, processos e equipe. Infraestrutura: recursos didáticos diferenciados e modernos, infraestrutura de bibliotecas, laboratórios, acesso a bases de dados de pesquisa, tecnologia de informação e comunicação. Por processos conta-se com uma gestão inovadora de processos. Equipe: engajada, preparada com experiência em currículos inovadores e acima de tudo com uma característica de constante mudança, constante inquietação e insatisfação para sempre implementar processos melhores e inovadores (Masetto 2018).

São considerados protagonistas segundo Masetto (2018): gestores, professores, alunos, funcionários administrativos e instituições parceiras que juntos são responsáveis e os principais agentes da atualização

curricular para destacar as necessidades a serem supridas pela atualização do curso.

Gestores: devem ser protagonistas pois compreendem as necessidades do novo projeto, conhecem as forças e fraquezas da instituição, conhecem e apoiam sua equipe e tem uma atitude proativa em oferecer soluções e ideias (Masetto 2018).

Professores: o docente tem um papel importantíssimo pois é ele está à frente dos discentes e deve conduzir, o discente ao seu próprio aprendizado. Segundo Masetto e Gaeta (2013) o perfil do docente deve ser de mediador e incentivador do aprendizado não apenas um especialista técnico na área, mas também um pedagogo que tem a capacidade de selecionar as melhores técnicas e intermediar o ensino para que haja engajamento dos alunos como responsáveis pelo seu desenvolvimento pedagógico. Além destas características pedagógicas o professor de administração deve ter uma grande cultura geral pois tem a responsabilidade de formar profissionais que tomarão decisões que afetam e trazem consequências para outros humanos, outras empresas, para o meio ambiente e para o futuro de todos (Aktouf 2005).

Alunos: o aluno deve ser responsável por sua aprendizagem se tornando o protagonista na relação com a IES (Masetto 2018). Estudantes devem ser questionadores, mais sensíveis as questões humanas, ecológicas e pessoais um estudante que será um profissional com visão holística empresarial, preparado para mudança e não para reprodução do que já ocorreu.

Funcionários Administrativos: precisam estar envolvidos com o novo projeto e sensibilizar-se as necessidades deste currículo inovador revendo suas atividades e funções principalmente nas interações com professores, gestores e alunos fazendo parte da equipe.

Instituições Parceiras: devem participar do projeto no planejamento e realização das práticas de formação aos discentes tais como estágios, projetos curriculares de extensão, projetos comunitários não sendo somente como um participante e sim um protagonista que vai colaborar para o currículo inovador e consequentemente colher frutos dessa abertura.

Estrutura Curricular e revisão do modelo curricular: diante da necessidade latente por inovação de uma sociedade que vive mudanças evolutivas crescentes e rápidas o debate sobre os novos modelos curriculares deve acontecer. O conceito de currículo deriva da palavra latina *curriculum* cuja raiz é *cursus* ou *currere*. Tendo como base a educação, o currículo é definido como a carreira do estudante, o plano de estudo, o que o aluno vai estudar ou será exposto durante determinado período. Segundo Sacristan (2013), o currículo a ensinar “é uma seleção organizada dos conteúdos a aprender, os quais, por sua vez, regularão a prática didática que se desenvolve durante a escolaridade” é portanto o fio condutor no ensino na formação do profissional conforme a área selecionada, no caso Administração.

Segundo Ausubel (1980) aprendizagem significativa necessita da participação e corresponsabilidade dos alunos em seu desenvolvimento pessoal do aprender. O aluno deve ter uma postura ativa, de protagonista sendo responsável pelo seu aprendizado e pela busca do conhecimento, trazendo discussões, pesquisa, debates e a interação com o mundo, mundo este em constante mudança pela ciência, pela tecnologia, pelas descobertas, mudanças na natureza e

meio ambiente, povos e nações no decorrer do tempo. A aprendizagem significativa tem um componente de experimentação prática fazendo uso das técnicas de metodologias ativas de ensino e aprendizagem, um conceito educacional que encoraja uma postura crítica-reflexiva por parte dos alunos. O método propõe a elaboração de situações de ensino que promovam o pensamento crítico dos alunos em relação a realidade e despertem sua curiosidade em busca da teoria que compõem a disciplina em questão bem como a solução do problema apresentado.

Brunner (1990) sugere algumas trilhas para a educação superior dentre elas “desenvolver uma trama de instituições, atividades e vias de comunicação caracterizadas por sua flexibilidade, adaptabilidade, mudança e interconectividade”, “estabelecimento de redes mais abertas, onde os distintos segmentos de rede desenvolverão especializações funcionais diferenciadas, criar redes de conhecimento, de intercambio e processamento de informação, de colaboração acadêmica”. Esta base defendida por Brunner (1990) fomenta a discussão de uma cultura de mudança tem como base a necessidade de atualização para lidar com a sociedade do conhecimento que teve alguns processos acelerados em função da Covid-19 e para organização do conhecimento, que segundo Dowbor (2013, p. 13) “é matéria prima da educação e está se tornando o recurso estratégico do desenvolvimento moderno.” Estamos em meio a era da sociedade do conhecimento onde a informação e o conhecimento são a base.

Gerando uma intencionalidade que consiste em ter claro qual o profissional de Administração que se pretende formar abrangendo as áreas de conhecimento que devem ser desenvolvidas no ensino e aprendizagem, são eles o conhecimento cognitivo, conhecimento afetivo emocional, conhecimento de habilidades e competências e conhecimento de atitudes e valores.

IV. GESTÃO DO CONHECIMENTO

O mundo tem passado por muitas transformações nos últimos tempos. Os cenários organizacionais também estão inseridos nessas transformações pelo simples fato de também estarem em processo de mudanças constantes, com necessidades de profissionais que possam adaptar-se as mudanças. É cada vez mais claro que a diferenciação profissional em uma sociedade de mudanças está vinculada a vantagem competitiva exigidas nesse mercado. Para tanto, é imprescindível entrar nessa nuvem de mudanças colocando em prática as aprendizagens e transformá-las em conhecimento, considerado como bem comum imaterial e regado de elementos para crescimento social. Assim, o conhecimento é um importante recurso de desenvolvimento humano e que traz ao indivíduo competências que o conduzem para uma concretização de sua aprendizagem. Para Davenport e Prusak (1998), o conhecimento não pertence a uma área específica da ciência pois ele é universal e transita por vários caminhos que tem como objetivo atender a novos paradigmas. A IES, como uma organização coletiva, é um ambiente que proporciona ao aluno ferramentas, através das aulas, que dão sentido e base científica para sua formação através do conhecimento, que é algo intrínseco ao indivíduo, envolvendo crenças e compromisso. (Nonaka e Takeuchi, 2008).

Massetto (2010), conceitua que o conhecimento é a aquisição, elaboração e organização de informações, acesso ao conhecimento já adquirido, reconstrução do próprio conhecimento com significado para si, inferência e generalização de conclusões; transferência de conhecimentos para novas situações, compreensão dos argumentos apresentados para defesa ou questionamento de teorias existentes, desenvolvimento da imaginação e da criatividade, do pensar e resolver problemas. O conhecimento cognitivo, é o aspecto intelectual e mental do homem; sua capacidade de pensar, refletir, analisar, comparar, criticar, justificar, argumentar, inferir conclusões, buscar e processar informações e produzir conhecimentos. Já o conhecimento afetivo-emocional, supõe um crescente crescimento em si mesmo, dos diferentes recursos que se dispõe, dos limites existentes, das potencialidades a serem otimizadas, do desenvolvimento da autoestima, autoconfiança, do trabalho em equipe, do relacionamento cooperativo, solidário e da corresponsabilidade pelo processo de aprendizagem.

O conhecimento de habilidades e competências, abrange tudo o que se faz com os conhecimentos já adquiridos; aprender a expressar e comunicar com os colegas, professores e profissionais da área e clientes futuros, trabalhar em equipe e comunicar-se com os colegas e pessoas fora do ambiente, participar de grupos interdisciplinares ou de pessoas de áreas diferentes, redigir e apresentar trabalhos científicos etc. E o conhecimento de atitudes e valores, que é o elemento mais delicado da aprendizagem de um profissional: o coração. Este é o menos trabalhado pela universidade e enquanto isso não ocorrer, modificações significativas de aprendizagem também não acontecerão. Por aprendizagem de atitudes e valores, entende-se que as universidades de ensino superior ensinem seus educandos que; valorizem o conhecimento e a sua atualização contínua, a aplicação deste em pesquisas e estudos, a solidariedade, criticidade, criatividade e o trabalho em equipe. (Massetto, 2010)

Para Dowbor (2013) a formação do conhecimento se dá pela apuração de dados dos quais, se organizados, transformam-se em informação. Essa informação, a partir de cada sujeito e sua interação social, transforma-se em conhecimento. Todos esses processos como uma relação harmoniosa de conhecimento, ação e valores, que poderia significar sabedoria.

“A educação e os sistemas de gestão do conhecimento que se desenvolvem em torno dela, tem de aprender as novas tecnologias para transformar a educação, na mesma proporção em que estas tecnologias estão transformando o mundo que nos cerca. A transformação é de forma e de conteúdo”. (Dowbor, 2013, p. 09)

A gestão do conhecimento é uma forma integrada de lidar com um mundo mais dinâmico, tecnológico e competitivo. Segundo Nonaka, Toyama e Hirata (2011), surgiu como uma necessidade de grande investimento em Tecnologias da Informação (TI), na qual era feita a idealização de tudo o que a gestão do conhecimento poderia trazer, desde benefícios do armazenamento até à transferência e ao uso eficiente dessas informações. A gestão seria sobre como administrar e supervisionar os sistemas de informação.

Para Nonaka, Toyama e Hirata (2011), o conhecimento é criado a partir da interação dinâmica entre a subjetividade e a objetividade. A subjetividade nasce do processo interno

de cada autor e encontra a objetividade no seio da interação com as outras pessoas, num contexto social. O conhecimento surge do resumo do pensamento de cada pessoa e da ação dos indivíduos que interagem entre si, dentro ou fora das organizações.

As organizações voltaram-se para a gestão do conhecimento, afirma Rosini e Palmisano (2012), com o objetivo de entender, organizar, controlar, e de lucrar com o recurso intangível do conhecimento.

Davenport e Prusak (1998) enumeraram as principais atividades relacionadas à gestão do conhecimento, bem como: compartilhar conhecimento internamente, atualizar o conhecimento, processar e aplicar o conhecimento para benefício organizacional, adquirir conhecimento externamente, reutilizar o conhecimento, criar conhecimentos e compartilhá-los com os envolvidos externos à organização.

Para Fleury e Fleury (2000), há discussões sobre o tema, tanto no ambiente acadêmico, quanto no ambiente organizacional. E essas discussões tratam o conhecimento como sendo uma ferramenta para desenvolvimento, compartilhamento e memorização, mas que o resultado pode ser advindo do compartilhamento das informações, esse é considerado o elemento-chave.

Ademais, a gestão do conhecimento serve para gerenciar todos os processos: o capital intelectual de cada indivíduo envolvido, seu conhecimento, suas experiências e práticas como diferenciais competitivos e quando compartilhados tornam-se ferramentas imprescindíveis de aumento de produtividade, engajamento e interação social. (Longo, 2014)

V. DISCUSSÃO

A cultura de mudança tem que estar presente em todos os protagonistas que interagem na IES pois são os agentes responsáveis pela atualização do curso. Gestores da IES, professores, alunos, funcionários administrativos, instituições parceiras que são as empresas que interagem com as instituições de ensino superior para numa base ganha-ganha em selecionar discentes para trabalhar, formam os cinco pilares que compõe o grupo interessado na atualização da graduação em Administração para formar um profissional que atenda às necessidades do mercado a luz da gestão e compartilhamento do conhecimento. Esses atores estão preparados para essa atualização curricular para desenvolver a gestão do conhecimento durante a graduação e nas empresas que trabalharão?

Portanto, tem clareza das suas fraquezas e fortalezas, sabe o que a IES deve entregar, no que tange as diretrizes curriculares nacionais vigentes e quais as ferramentas que possui. Por outro lado, conhecem sobre gestão de uma IES para lidar com a era do conhecimento? Estão interligados aos funcionários para disseminar o modo de agir para dar suporte a atualização da graduação? Os professores das IES têm profissionalidade suficiente para desenvolver nos alunos as características necessárias a gestão do conhecimento?

Os alunos se colocam como protagonistas? Estão na posição de adultos, e como tal, se responsabilizam pelo seu aprendizado? Compartilham o conhecimento adquirido ou tem instrumentos para buscar o conhecimento?

As necessidades contemporâneas do mercado serão atendidas por profissionais completos, questionadores, sensíveis as questões humanas e ecológicas com visão

holística que ao longo de sua formação foram expostos a dados que organizados se transformaram em informação e através da aprendizagem significativa e sua interação social formam o conhecimento. Somos bombardeados por diversas informações e cabe a IES ensinar o aluno a organizar as informações de forma inteligente, flexível, integrada e compartilhada, pois uma vez a informação integrada e compartilhada, todos se beneficiam e colocamos em prática a visão da Unesco 1998 de acessibilidade de conhecimento a todos. Estamos na era do conhecimento e o conhecimento é aquilo que se sabe sobre algo ou alguém. A gestão deste conhecimento é a chave para lidar com o mundo dinâmico em que vivemos.

VI. CONCLUSÃO

A técnica do ensaio teórico utilizada neste estudo busca iniciar uma discussão nas tratativas de um novo olhar no curso de Administração, visando as mudanças organizacionais e sociais.

A indústria mudou, os impactos no meio profissional e acadêmico foram muito fortes, das quais a adaptação vem sendo de forma abrupta, porém, não é possível deixar de lado algo que está tão próximo e diante de nossos olhos; a realidade das mudanças. Uma aprendizagem com significado pode levar o estudante a ser estimulado de maneira mais ampla, da qual este tenha mais vontade de aprender, compreendendo cada situação vivenciada e coerente com a sua realidade não somente profissional, mas também com sua vida social. Ainda frisamos que o Covid-19 acelerou algumas mudanças que estavam por vir; o trabalho em casa (*Home Office*), aulas remotas, atividades digitais, compras e serviços virtuais, ou seja, um caminho sem volta e que permeia toda nossa vida.

O presente ensaio teórico, busca compreender a necessidade de atualização e inovação da matriz curricular no curso de graduação em Administração, com o objetivo de uma formação sólida do estudante e em sinergia com a realidade do mercado profissional. Sugere-se a fomentação de discussões e novas pesquisas que venham a contribuir no enriquecimento do tema em discussão e que este possa desenvolver habilidades técnicas e comportamentais com significados que agreguem e contribuam para o desenvolvimento profissional, social e acadêmico.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aktouf, Omar (2005). *Ensino de Administração : por uma pedagogia para mudança*. O&S -v.12 – n.35 – Outubro / Dezembro – 2005

Ausubel, D. (1980). Psicologia educacional. Rio de Janeiro: Interamericano.

Brunner, J.J. (1990). *Educación Superior em América Latina: Cambios Y Desafios*. Chile: Fondo de Cultura Econômica.

Davenport, T. H. & Prusak, I. (1998). *Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual*. Rio de Janeiro: Campus.

Dowbor, Ladislau. (2013). *Tecnologias do conhecimento: os desafios da educação* – (Versão atualizada) – Vozes, 56p.

Gaeta, Cecília & Masetto, Marcos T. *Docência com profissionalidade no ensino superior*. v. 4 n. 2 S (2013): Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium / Special Issue Education.

Junqueira, L. A. P., & Padula, R. S., (Ed.). (2017). *Aprendizagem no ensino superior no século XXI: desafios e tendências* / Organização Luciano Antônio Prates Junqueira e Roberto Sanches Padula. Prefácio Maria Elizabeth Bianconcini de Almeida. – São Paulo: Tiki Books.

Lengel, J. G. (2013). *Education 3.0: steps to better schools*. New York, NY: Teachers College Press.

Masetto, Marcos T. (2010). *O professor na hora da verdade: a prática docente no ensino superior*. São Paulo: Avercamp.

Masetto, Marcos T. & Gaeta, C. (2016). *Curriculum inovador: um caminho para os desafios do ensino superior*. Revista FORGES, v. 4, n. 2.

Masetto, Marcos T. (2018). *Trilhas abertas na universidade*. São Paulo: Summus.

Nonaka, I. *The knowledge creating company* (1991). Harvard Business Review. nov./dec., p. 96-104.

Nonaka, I.; Toyama, R. & Hirata, T. (2011). *Teoria e casos de empresas baseadas no conhecimento: managing flow*. Porto Alegre: Bookman.

Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) (1998). *Declaração mundial sobre educação superior no século XXI: visão e ação*. Paris: Unesco.

Oliveira, J.F; Catani, A.M & Dourado, L.F. (2001). *Política educacional, mudanças no mundo do trabalho e reforma curricular dos cursos de graduação no Brasil*. Educação & Sociedade, Campinas, v. 22, n. 75, p. 67-83.

Rosini, A. M. & Palmisano, A. (2012). *Administração de sistemas de informação e a gestão do conhecimento*. 2. ed., rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning.

Sacristán, José Gimeno (2013). *Saberes e incertezas sobre currículo*. Tradução Alexandre Salvaterra – Porto Alegre: Penso.

Sadao, Edson (2019). *Inovação em ensino e aprendizagem: casos de cursos de Administração no Brasil*. São Paulo: Pasta Professor.

Schwab, Klaus (2016). *Quarta revolução industrial*; tradução Daniel Moreira Miranda. - São Paulo: Edipro.

Takeuchi, H.; Nonaka, I. (2008). *Gestão do conhecimento*. Porto Alegre: Bookman.

VIII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) às bolsas de estudo concedidas.

IX. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

CPC 33 (R1) - BENEFÍCIOS A EMPREGADOS: ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES DIVULGADAS PELAS EMPRESAS DO SEGMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO NA B3

CPC 33 (R1) – EMPLOYEE BENEFITS: ANALYSIS OF THE INFORMATION PUBLISHED BY THE COMPANIES IN THE WATER AND SANITATION SEGMENT AT B3

MYRON PALHANO GALVÃO SOBRINHO^{1,2}; ANA PAULA FERREIRA DA SILVA^{1,3}; ISRAEL LUCAS DE OLIVEIRA AGUIAR^{2,4}; CICERO RONALDO MENDES DE ANDRADE JÚNIOR⁵

1 – UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO; 2 – FUCAPE BUSINESS SCHOOL; 3 – CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFBV/WYDEN; 4 – UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ; 5 – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO.

myron.galvao@unicap.br ; anapafesilva@hotmail.com ; israel_contabil@hotmail.com ; crmajr@gmail.com

Resumo – O CPC 33 (R1) (2012) apresenta orientações sobre mensuração e divulgação dos benefícios concedidos aos empregados e deve ser cumprido por todas as entidades empregadoras. Este estudo visa verificar se os benefícios a empregados, divulgados nas demonstrações financeiras das empresas do setor água e saneamento listadas na B3, estão em conformidade com o CPC 33 (R1). Quanto à metodologia, trata-se de um estudo exploratório e descritivo, desenvolvido por meio de uma pesquisa documental de caráter qualitativo em uma amostra composta por seis empresas. A coleta de dados foi realizada em agosto de 2020 e os resultados evidenciam o cumprimento parcial de alguns dispositivos do pronunciamento. Conclui-se que, de modo geral, a divulgação de relatórios incompletos ou com omissão de dados é prejudicial aos usuários dos planos de pós-emprego, pois pode acarretar análises e/ou decisões equivocadas atreladas a perdas, ganhos e riscos.

Palavras-chave: CPC 33 (R1) (2012). Divulgação de benefícios à empregados. Empresas de água e saneamento.

Abstract – The CPC 33 (R1) (2012) provides guidance for the measure and disclosure of the benefits granted to employees and must be followed by all employers. This study aims to verify if the employee benefits disclosed by the water and sanitation companies listed in B3 on their financial statements are in compliance with CPC 33 (R1). Regarding the methodology, it consists in an exploratory and descriptive study, developed through a qualitative documentary research in a sample composed of six companies. Data collection occurred in August 2020 and the results show a partial compliance with some accounting requirements. The conclusion is that, in general, the disclosure of incomplete reports or with lack of data is harmful to users of post-employment benefits, due to the fact that it can lead to wrong analyzes/ decisions related to losses, gains and risks.

Keywords: CPC 33 (R1) (2012). Disclosure of employee benefits. Water and sanitation companies.

I. INTRODUÇÃO

Por meio da Lei nº 11.638 de 2007, o Brasil adotou as Normas Internacionais de Contabilidade, também

conhecidas como IFRS (*International Financial Reporting Standards*). Dessa forma, a contabilidade brasileira passou por mudanças significativas, tanto na estrutura e apresentação das demonstrações financeiras quanto nas práticas e políticas contábeis. Tais alterações tiveram como objetivo melhorar a qualidade da informação prestada aos stakeholders, concedendo maior confiabilidade, comparabilidade e compreensibilidade, minimizando as diferenças nas práticas adotadas por outros países.

Visando a padronizar as normas contábeis foi criado o Comitê de Pronunciamentos Contábeis (CPC), tendo como uma de suas principais finalidades o estudo, o preparo e a emissão de documentos técnicos sobre procedimentos de Contabilidade.

Dentre os pronunciamentos emitidos, destaca-se o CPC 33 (R1) (2012), que trata dos benefícios a empregados, o qual será objeto do presente estudo. Quanto à definição, esse pronunciamento menciona que benefícios a empregados são todas as formas de compensação proporcionadas pela empresa em troca de serviços prestados por seus colaboradores ou pelo término do contrato de trabalho. Por outro lado, neste cenário de mudanças, destacam-se as empresas do segmento de água e saneamento, que, além de se adaptarem às IFRS e aos pronunciamentos do CPC, devem também se ajustar à Lei 14.026/2020, conhecida como Novo Marco Regulatório do Saneamento.

Ainda em relação às empresas de água e saneamento, segundo informações disponíveis no site governamental PPI (Programa de Parcerias de Investimentos), quase 35 milhões de brasileiros não têm abastecimento de água tratada e quase a metade da população – cerca de 100 milhões de pessoas – não tem coleta de esgoto. Assim, a Lei 14.026/2020 prevê universalizar o saneamento básico até 31 de dezembro de 2033 e estima-se uma previsão de investimentos na casa de R\$ 700 bilhões.

Esse ambiente de mudanças provocou no mercado uma expectativa de crescimento e rentabilidade no segmento

de água e saneamento, principalmente devido aos possíveis incentivos por parte do governo brasileiro. Segundo Bombana (2019), as ações de algumas empresas desse setor sofreram fortes altas, como foi o caso da SABESP (53,4% EM 2019), SANEPAR (26,5%) e COPASA (com ganhos um pouco menores, de 7,7%, após uma alta de 54,6% em 2018).

Dessa forma, diante do atual contexto de relevância do setor de saneamento para a economia brasileira e da obrigatoriedade de cumprimento do CPC33(R1), este estudo foi conduzido com o propósito de responder à seguinte pergunta, constituída como problema de pesquisa: **independente da obrigação legal, as empresas do setor de água e saneamento estão cumprindo as obrigações impostas pelo CPC33(R1)?**

Como consequência dessa questão central, o presente artigo tem como objetivo geral verificar se os benefícios a empregados, divulgados nas demonstrações financeiras das empresas do setor de água e saneamento listadas na B3 estão em conformidade com o Pronunciamento Técnico CPC 33 (R1).

Este estudo se justifica pela importância das empresas de água e saneamento, pelos impactos decorrentes de suas atividades na sociedade e, pressuposto, pela quantidade de recursos que serão investidos nesse setor.

Além das justificativas mencionadas, esta pesquisa se justifica por não haver estudos correlatos abordando o CPC 33 (R1) com foco nas empresas de água e saneamento no Brasil e também pela demanda crescente por mais transparência, considerando que a divulgação adequada dos benefícios a empregados atende a vários usuários externos, como investidores, empregados, futuros colaboradores e outros.

II. METODOLOGIA

O método utilizado neste estudo é o indutivo, partindo da análise individual para auferir conclusões sobre o todo ou grupo. O universo da pesquisa é a B3, considerada uma das principais empresas de infraestrutura de mercado financeiro no mundo, com atuação em ambiente de bolsa e de balcão.

Quanto à amostra, a Tabela 1 apresenta as seis empresas do segmento de água e saneamento listadas na B3 em julho 2020. De acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os serviços prestados por essas companhias compreendem o abastecimento de água, tratamento de esgoto, destinação das águas das chuvas nas cidades e lixo urbano.

Tabela 1: Empresas de água e saneamento.

Nº	EMPRESA	LOCAL	ÁREA DE ATUAÇÃO
1	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN)	SC	Serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.
2	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)	MG	Serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário.
3	Iguá Saneamento S.A. (IGUÁ S.A.)	AL, SP, MT, PR, SC.	Serviços de captação, tratamento e distribuição de água e de coleta,

			afastamento e tratamento de esgoto.
4	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP)	SP	Fornecimento de água, coleta e tratamento de esgotos em 375 municípios do Estado de SP.
5	Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)	PR	Serviços de saneamento básico e gestão de aterros sanitários.
6	Sanesalto Saneamento S.A. (SANESALTO)	SP	Tratamento de esgoto.

Fonte: elaborada pelos autores.

Utilizando a classificação tipológica de Beuren et al. (2008), este estudo é classificado, quanto aos objetivos, em exploratório e descritivo. Exploratório em razão de haver poucos estudos sobre a temática que permeia o objeto da pesquisa e descritivo pelo fato de os pesquisadores descreverem os resultados da forma como foram encontrados.

Silva (2003) afirma que esse tipo de pesquisa é realizado quando não existe muita informação e/ou dados sobre o assunto que é pesquisado. Para Cooper e Schindler (2003), esse tipo de pesquisa “É particularmente útil quando os pesquisadores não têm uma ideia clara sobre o problema abordado”.

Seguindo ainda os critérios de Beuren et al. (2008), este estudo é classificado, quanto ao procedimento, como documental, pois todos os dados primários foram coletados pela análise das demonstrações financeiras das seis empresas do segmento de água e saneamento pesquisadas.

Quanto à abordagem, esta pesquisa se enquadra como qualitativa, uma vez que buscou verificar o nível de aderência das empresas do segmento de água e saneamento aos dispositivos do CPC 33 (R1).

Neste estudo foram realizadas coletas de dados secundários e primários. A coleta de dados secundários, ou seja, de estudos já realizados sobre a temática central desta pesquisa foi realizada por meio de levantamento usando as ferramentas EBSCO e Google Acadêmico@. Quanto aos dados primários, o ano de 2019 foi adotado como base devido ao fato de, por uma determinação legal, as empresas já terem publicado as suas demonstrações financeiras nesse período, ou seja, são os dados mais recentes disponíveis para análise.

O período de coleta dos dados foi de 10 a 25 de agosto de 2020 e para padronizar foi elaborado um formulário (Tabela 2) seguindo as diretrizes e orientações do Pronunciamento Técnico CPC 33 (R1).

Tabela 2: Formulário Coleta de dados.

1 - BENEFÍCIOS DE CURTO E LONGO PRAZO		Item CPC
Q.1	o CPC 33 (R1) não exige divulgações específicas acerca de benefícios de curto e longo prazo a empregados. Assim, foi realizada apenas a descrição dos benefícios divulgados de forma voluntária encontrado nas demonstrações financeiras.	4, 14
2 - BENEFÍCIOS DE DESLIGAMENTO		

Q.2	a entidade divulgou benefícios de desligamento?	15
Q.3	a entidade divulgou a mensuração dos benefícios de desligamento?	18
3 - BENEFÍCIOS DE PÓS-EMPREGO (contribuição definida)		
Q.4	a entidade divulgou planos de contribuição definida?	8
Q.6	a entidade divulgou a forma de reconhecimento da contribuição a ser paga ao plano de contribuição definida?	9-A,B
4 - BENEFÍCIOS DE PÓS-EMPREGO (benefício definido)		
Q.7	divulgou características e riscos dos planos de benefício definido?	13-A
Q.8	elaborou conciliações entre o saldo de abertura e o saldo de encerramento?	13-B
Q.9	distinguiu a natureza e risco dos ativos subdividindo cada classe de ativos do plano entre aquelas que possuem valor de mercado cotado em mercado ativo?	13-C
Q.10	divulgou o valor justo dos instrumentos financeiros e as premissas atuariais utilizadas para determinar o valor presente da obrigação?	13-D
Q.11	divulgou o montante, prazo e incerteza de fluxo de caixa futuros com a apresentação da análise de sensibilidade para cada premissa atuarial?	13-E
Q.12	divulgou descrição de acordos, responsabilidades e qualquer alocação convencionada de déficit ou superávit ref. a planos multiempregadores?	13-F
Q.13	destacou os planos de benefício definido que compartilham riscos entre várias entidades sob controle comum?	13-G
Q.14	divulgou partes relacionadas quando exigido pelo CPC 5?	13-H
Q.15	divulgou provisões, passivos e ativos contingentes decorrentes de obrigações de benefícios pós-emprego quando exigido pelo CPC 25?	13-I

Fonte: elaborado pelos autores.

Por último, após a coleta, deu-se a tabulação das informações utilizando o programa Excel, o qual possibilitou a elaboração de tabelas, quadros, gráficos e outros.

III. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos por meio do confronto entre os dispositivos do CPC 33 (R1) com as informações encontradas nas demonstrações financeiras das empresas do segmento de água e saneamento listadas na B3.

3.1 – Benefícios a empregados de curto e longo prazo

Para o CPC 33 (R1), os benefícios a empregados são compensações proporcionadas pela entidade em troca de serviços prestados por seus colaboradores ou pelo término do contrato de trabalho.

Segundo Lay; Silva; Michels (2017), além dos salários as empresas optam por oferecer benefícios adicionais a seus colaboradores, como plano de saúde, vale-alimentação, licenças remuneradas e previdência complementar, entre outros.

O pronunciamento não exige divulgações específicas acerca de benefícios concedidos a empregados

classificados como de curto e de longo prazo, porém, determina que a empresa evidencie sua forma de contabilização em nota explicativa. Foi constatado que todas as empresas cumpriram essa exigência.

De acordo com a Tabela 3 é possível constatar que a SANEPAR foi a empresa que mais detalhou a composição dos benefícios concedidos a empregados, ao contrário da SANESALTO, que optou por demonstrações financeiras mais sintetizadas.

Tabela 3: Benefícios evidenciados nas demonstrações financeiras.

1 - CASAN: benefícios de curto prazo: salários e encargos sociais, férias, participação nos lucros, plano de saúde, auxílio-creche, cursos de formação e aperfeiçoamento, programa de alimentação, previdência privada e indenizações. Benefícios de longo prazo: participação nos lucros.
2 - COPASA: benefícios de curto prazo: salários encargos sociais, férias, participação nos lucros, plano de saúde e odontológico – COPASS Saúde, auxílio-creche, treinamentos, programa de alimentação, vale-transporte, previdência privada, brindes, presentes e outros benefícios. Benefícios de curto prazo: a empresa não evidenciou.
3 - IGUÁ S.A.: benefícios de curto prazo: salários e encargos sociais, prêmio baseado em ações, convênio médico e odontológico, treinamentos, vale-alimentação e refeição, vale-transporte e seguro de vida. Benefícios de longo prazo: a empresa não evidenciou.
4 - SABESP: benefícios de curto prazo: salário e encargos sociais, participações nos resultados, plano de saúde, auxílio-creche, treinamentos, vale-alimentação, cesta básica, prêmio empreendedor SABESP, previdência privada e programa de retenção do conhecimento. Benefícios de longo prazo: a empresa não evidenciou.
5 - SANEPAR: benefícios de curto prazo: salários e encargos sociais, plano de participação nos resultados (PPR), abono indenizatório, plano e assistência médica e odontológica – Sanesaúde, auxílio doença, capacitação e desenvolvimento profissional, auxílio-creche, vale-alimentação e refeição, vale-transporte, previdência privada, fracionamento de férias e licença sem remuneração, licença para acompanhamento médico familiar, afastamento por casos de violência doméstica e redução de carga horária para empregados que sejam pais de portadores de necessidades especiais (PNE). Benefícios de longo prazo: plano de assistência médica e plano de aposentadoria.
6 - SANESALTO: benefícios de curto prazo: salários e encargos sociais. Benefícios de longo prazo: a empresa não evidenciou.

Fonte: elaborado pelos autores.

Conhecer os benefícios concedidos a empregados é importante para a sociedade poder acompanhar como as empresas distribuem suas riquezas, uma vez que parte delas retorna para a população em forma de benefícios a funcionários. Porém, para uma análise mais detalhada em relação aos benefícios a empregados oferecidos pelas empresas, recomenda-se consultar relatórios específicos, como relatório de sustentabilidade, formulário de referências e outros.

3.2 – Benefícios de desligamento ou rescisórios

De acordo com CPC 33 (R1), os benefícios de desligamento são pagáveis por consequência da decisão da empresa em encerrar o vínculo empregatício do empregado antes da data normal de aposentadoria e/ou da decisão do empregado em aceitar a demissão em troca desses benefícios, geralmente atrelados a um programa de demissão voluntária.

O pronunciamento não faz exigências específicas quanto à divulgação, mas, sim, quanto à mensuração e ao

reconhecimento desse benefício. A Tabela 4 evidencia que as empresas CASAN, SABESP e SANEPAR apresentaram benefícios de desligamento.

Quanto ao cumprimento das exigências de reconhecimento contábil e mensuração baseada no número estimado de empregados que irão aderir ao plano foi constatado que as três empresas citadas cumpriram as obrigações impostas pelo CPC 33(R1).

Tabela 4: Benefícios evidenciados nas demonstrações financeiras.

EMPRESA	BENEFÍCIOS DE DESLIGAMENTO
1 - CASAN	Plano de Demissão Voluntária Incentivada – PDVI.
2 - COPASA	não evidenciou.
3 - IGUÁ SA	não evidenciou.
4 - SABESP	Programa de Retenção do Conhecimento (PCR) e Programa de Demissão Incentivada.
5 - SANEPAR	Programa de Demissão Voluntária com Transferência de Conhecimento (PDVTC)
6 - SANESALTO	não evidenciou.

Fonte: elaborado pelos autores.

Quanto ao cumprimento das exigências de reconhecimento contábil e mensuração baseada no número estimado de empregados que irão aderir ao plano, foi constatado as três empresas citadas cumpriram as obrigações impostas pelo CPC 33(R1).

3.3 – Benefícios de pós-emprego (aposentadoria) – tipo: contribuição definida

De acordo com CPC 33 (R1), os planos de contribuição definida são planos de benefícios pós-emprego pelos quais a entidade patrocinadora paga contribuições a uma entidade separada (fundo de pensão), não tendo a obrigação legal ou construtiva de pagar contribuições adicionais se o fundo vier a não possuir ativos suficientes para pagar todos os benefícios devidos.

Quanto à divulgação, o pronunciamento não exige publicações específicas acerca dos benefícios pós-emprego na modalidade contribuição definida, porém, determina que a empresa divulgue em nota explicativa as práticas contábeis relacionadas ao reconhecimento dos valores que foram pagos ao fundo que administra o plano.

A Tabela 5 evidencia que as companhias CASAN, COPASA, SABESP e SANEPAR oferecem esse benefício aos seus empregados e após análise de suas notas explicativas foi constatado que todas cumpriram as exigências impostas pelo CPC 33 (R1).

Tabela 5: Benefícios evidenciados nas demonstrações financeiras.

EMPRESA	BENEFÍCIOS PÓS-EMPREGO	
	Contribuição Definida	PLANO
EMPRESA	PLANO	ADMINISTRADORA
1 - CASAN	Casanprev	Fundação Casan de Previdência Complementar - CASANPREV
2 - COPASA	Copasa - CD	Fundação Libertas
3 - IGUÁ SA	não oferece	-
4 - SABESP	Plano G0 Plano G1	Fundação Sabesp de Seguridade Social – SABESPREV
5 - SANEPAR	Fusanprev	Fundação Sanepar de Previdência e Assistência Social – FUSAN
6 - SANESALTO	não oferece	-

Fonte: elaborado pelos autores.

Por outro lado, foi observado que as empresas IGUÁ SANEAMENTO e a SANESALTO não oferecem nenhum plano de benefício pós-emprego a seus colaboradores, tanto na modalidade contribuição definida como benefício definido.

3.4 – Benefícios de pós-emprego (aposentadoria) – tipo: benefício definido.

De acordo com o CPC 33 (R1), nos planos de benefício definido a entidade patrocinadora tem a obrigação legal e contratual de prover os benefícios acordados com os empregados atuais e/ou antigos e assumir todos os riscos (atuariais e de investimentos) em caso de déficits e dificuldades da administradora para quitar os benefícios devidos.

A Tabela 6 evidencia que as companhias CASAN, COPASA, SABESP e SANEPAR oferecem esse benefício aos seus empregados, porém, foi identificado nas notas explicativas da COPASA que ela fechou os dois planos (RP-1 BD e o Saldado – BD) para novas adesões e implantou um novo plano (na modalidade contribuição definida) com o objetivo de fazer a migração de todos os participantes e a inclusão dos novos empregados e dirigentes.

Tabela 6: Benefícios evidenciados nas demonstrações financeiras.

EMPRESA	BENEFÍCIOS PÓS-EMPREGO	
	Benefício Definido	PLANO
EMPRESA	PLANO	ADMINISTRADORA
1 - CASAN	Casanprev	Fundação Casan de Previdência Complementar - CASANPREV
2 - COPASA	Plano RP-1 (BD) e Plano Copasa Saldado - BD	Fundação Libertas
3 - IGUÁ SA	não oferece	-
4 - SABESP	Plano G0 Plano G1	Fundação Sabesp de Seguridade Social – SABESPREV
5 - SANEPAR	Fusanprev	Fundação Sanepar de Previdência e Assistência Social – FUSAN
6 - SANESALTO	não oferece	-

Fonte: elaborado pelos autores.

A decisão da COPASA em fechar os planos de benefício definido para novas adesões deve-se ao fato de que nessa modalidade a empresa tem obrigação legal de pagar contribuições adicionais, caso o fundo não possua ativos suficientes para quitar todos os benefícios devidos.

Quanto à divulgação, o CPC 33 (R1) determina que as entidades devem publicar em suas demonstrações financeiras informações sobre características e riscos dos

planos de benefício definido, elaborar conciliações entre o saldo de abertura e o saldo de encerramento, distinguir a natureza e o risco dos ativos e demais itens apresentados na figura 4, quesitos Q.7 a Q.15.

Após levantamento e análise desses quesitos foi adotada a codificação com os números 0 ou 1, sendo 0 para respostas negativas e 1 para respostas positivas. As respostas positivas foram somadas e o seu total transformado em porcentagem.

Quanto aos resultados, a Tabela 7 evidencia que as empresas COPASA, SABESP e SANEPAR cumpriram todas as exigências do CPC 33 (R1) atreladas à divulgação de informações sobre plano definido. Por outro lado, a CASAN cumpriu apenas 57,1% dos quesitos, atingindo o menor percentual de divulgação para o benefício pós-emprego na modalidade benefício definido.

Tabela 7: Benefícios evidenciados nas demonstrações financeiras.

EMPRESA	QUESITOS										TOTAL
	Q.7	Q.8	Q.9	Q.10	Q.11	Q.12	Q.13	Q.14	Q.15		
CASAN	1	0	0	1	0	-	-	1	1	57,1%	
COPASA	1	1	1	1	1	-	-	1	1	100,0%	
SABESP	1	1	1	1	1	-	-	1	1	100,0%	
SANEPAR	1	1	1	1	1	-	-	1	1	100,0%	

Fonte: elaborado pelos autores.

Nesse contexto, partindo da premissa de que o objetivo das demonstrações financeiras é fornecer informações úteis para a tomada de decisões por parte dos usuários, Silva (2019) destaca que a divulgação de relatórios incompletos ou com omissão de informações importantes é prejudicial aos usuários, pois pode acarretar análises e/ou decisões equivocadas.

Em relação aos itens Q.12 e Q.13, estes não foram considerados porque as companhias não possuem planos multiempregadores.

IV. CONCLUSÃO

O Pronunciamento Técnico CPC 33 (R1) apresenta orientações sobre mensuração, contabilização e divulgação dos benefícios concedidos aos empregados e deve ser cumprido por todas as entidades empregadoras. Assim, este estudo teve como objetivo principal verificar se os benefícios a empregados, divulgados nas demonstrações financeiras das empresas do setor de água e saneamento, estavam em conformidade o referido pronunciamento.

Como conclusão foi observado que as companhias analisadas cumpriram a exigência de evidenciar em nota explicativa as práticas contábeis de reconhecimento de benefícios a empregados de curto prazo e de longo prazo. Quanto a benefícios de desligamento, as três companhias que estavam com planos ativos de demissão voluntária também cumpriram os dispositivos impostos pelo pronunciamento.

Em relação aos benefícios de pós-emprego na modalidade contribuição definida, constatou-se que as companhias que oferecem essa vantagem a seus empregados cumpriram todas as exigências, porém, na modalidade benefício definido foi observado o cumprimento parcial das exigências do CPC 33 (R1).

Nesse contexto, partindo da premissa de que o objetivo das demonstrações financeiras é fornecer informações úteis para a tomada de decisões por parte dos usuários, a divulgação de relatórios incompletos ou com omissão de dados é prejudicial aos usuários, pois pode acarretar análises e/ou decisões equivocadas atreladas a perdas, ganhos e riscos dos planos de benefícios.

Para futuros estudos a respeito dessa temática, sugere-se ampliar o período da análise e pesquisar empresas que prestam serviços de utilidade pública como energia elétrica, telecomunicações e gás.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas no Brasil. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.** Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/saiba-quem-regula/saneamento> Acesso em: 31 de ago. de 2020.

BOMBANA, Lucas. Manancial de Lucros. **Isto é Dinheiro** – 14/06/2019. Disponível em: <https://www.istoeedinheiro.com.br/manancial-de-lucros-saneamento/> Acesso em: 29 de ago. de 2020.
BEUREN, Ilse Maria *et al.* **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

BRASIL. Lei 11.638, de 28 de dezembro de 2007. **Dispõe sobre elaboração e divulgação de demonstrações financeiras.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11638.htm Acesso em: 27 de ago. de 2020.

_____. Lei 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o Marco Legal do Saneamento.** Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2020/lei-14026-15-julho-2020-790419-norma-pl.html> Acesso em: 27 de ago. de 2020.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela. S. **Métodos de pesquisa em administração.** Porto Alegre: Bookman, 2003.

CPC - COMITÊ DE PRONUNCIAMENTOS CONTÁBEIS. **Pronunciamento técnico CPC 33 (R1),** de 07 de dezembro de 2012. Benefícios a empregados. 2012. Disponível em: <http://www.cpc.org.br/CPC/Documentos-Emitidos/Pronunciamentos/Pronunciamento?Id=64> Acesso em: 24/07/2020

LAY, Luís; SILVA, Thiago Bruno de Jesus; MICHELS, Andressa. **Fatores explicativos da evidenciação dos benefícios aos empregados em empresas brasileiras listadas no IBRX 100 da BM&FBOVESPA,** Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade, Salvador, v. 7, n. 1, p. 185-204, jan./abr. 2017. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/financ/article/view/2564> . Acesso em: 27 de ago. de 2020.

O PPI e o Novo Marco Regulatório do Saneamento. **Programa de Parcerias de Investimentos.** Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/index.php>. Acesso em: 27 de ago. de 2020.

SILVA, Antônio Carlos Ribeiro da. **Metodologia da pesquisa aplicada à contabilidade:** orientações de estudos, projetos, relatórios, monografias, dissertações, teses. São Paulo: Atlas, 2003.

SILVA, A. H. C. (2019). **Divulgação incompleta de Demonstrações Contábeis:** Um problema a ser eliminado. Estudos em Contabilidade e Tributação, v.1: e27.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

TRANSPARÊNCIA MUNICIPAL ATIVA À LUZ DA LEI DE ACESSO À INFORMAÇÃO: A EXPERIÊNCIA DAS PREFEITURAS DAS CAPITAIS BRASILEIRAS

ACTIVO MUNICIPAL TRANSPARENCY IN THE LIGHT OF THE ACCESS TO INFORMATION LAW: THE EXPERIENCE OF THE BRAZILIAN CAPITAL PREFERENCES

CLAUDIA ROBERTA GOMES DA SILVA¹; ANA PAULA FERREIRA DA SILVA^{1,2};
MYRON PALHANO GALVÃO SOBRINHO^{1,3}; VALDECI MONTEIRO DOS SANTOS^{1,4}

1 – UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO; 2 – CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFBV;
3 – FUCAPE BUSINESS SCHOOL; 4 – CEPLAN CONSULTORIA ECONÔMICA E PLANEJAMENTO

claudiaroberta76@gmail.com; anapafesilva@hotmail.com; myron.galvao@unicap.br;
valdeci.santos@unicap.br

Resumo – A Lei de Acesso à Informação 12.527/11 (BRASIL, 2011) foi sancionada em 18 de novembro de 2011 pela presidente Dilma Rousseff. Ela apresenta algumas referências à obrigatoriedade de divulgação de informações de interesse geral ou coletivo, partindo dos órgãos e entidades públicas, por vontade própria sem haver um pedido formal por algum cidadão, exceto algumas que são protegidas por um alto grau de sigilo. O objetivo central deste estudo é analisar se o município de Igarassu atende às orientações estabelecidas pela Lei de Acesso à Informação (LAI) no que tange à transparência ativa. Os achados da pesquisa mostraram que as informações divulgadas no Portal da Transparência de Igarassu não apresentam o detalhamento das informações solicitadas, tampouco o status dos pedidos, se esses foram deferidos ou indeferidos.

Palavras-chaves: Lei de Acesso à Informação; Portal da Transparência; Transparência Ativa.

Abstract - The Access to Information Law - 12,527 / 11 (BRAZIL, 2011) was signed on November 18, 2011 by President Dilma Rousseff, which presents some references to the mandatory disclosure of information of general or collective interest, coming from the bodies and entities public, willingly without a formal request from any citizen, except some that are protected by a high degree of secrecy. The main objective of this study is to analyze whether the municipality of Igarassu meets the guidelines under the Access to Information Law (LAI) without any room for active maneuver. The findings of the indistinct survey that the information released on the Igarassu Transparency Portal do not present the details of the requested information nor the status of the request, whether these were granted or rejected.

Keywords: Access to Information Law; Transparency Portal; Passive Transparency.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com Padoveze (2019), a informação é um dado o qual foi processado e armazenado num banco de dados, de forma que seja compreensível e facilite o entendimento do gestor da empresa ao receber essa informação por meio do seu sistema de informação contábil.

Anais do XLIII International Sodebras Congress

Sabe-se que a informação é de suma importância para todo e qualquer indivíduo, independentemente de cargos ou status. Quando se fala da tomada de decisão, por exemplo, a informação coloca-se como ponto ainda mais importante, pois, por meio dela, é possível o direcionamento positivo e produtivo do gestor em relação à empresa, tendo em vista que se essa mesma informação estiver bem decifrada e bem organizada a empresa estará com grande vantagem perante a concorrência, além de uma capacidade ainda maior para a conquista dos objetivos estabelecido.

Segundo Iudícibus (2000, p. 116), a evidenciação não é tratada como apenas uma divulgação de meras informações sem que estejam comprehensíveis e plenas que serão disponibilizadas aos leitores, os quais, nem sempre, dispõem de conhecimento para compreender todas as informações que são dispostas, mas, sim, da forma como são divulgadas, quais os tipos de informações disponibilizadas ao público e se são fidedignas. Dessa forma, segundo Iudícibus et al (2017, p.16): “(...) o disclosure está ligado aos objetivos da contabilidade, ao garantir informações diferenciadas para os vários tipos de usuários”.

Portanto, é importante observar que, segundo Iudícibus et al (2017), há alguns termos que recentemente surgiram para esclarecer um pouco mais esse estudo sobre evidenciação de informações, os quais podem ser citados como: a evidenciação justa de informações, também chamada de *fair disclosure*; a evidenciação adequada das mesmas informações, na qual vão ser analisados quais tipos de informações serão divulgadas, chamada de *adequate disclosure*; e a evidenciação completa, na qual serão divulgadas todas as informações necessárias para o esclarecimento de uma dúvida ou atendimento a uma necessidade, chamada de *full disclosure*.

A Lei de Acesso à Informação (BRASIL, 2011) apresenta algumas referências à obrigatoriedade de divulgação de informações de interesse geral ou coletivo, partindo dos órgãos e entidades públicas, por vontade

própria, sem haver um pedido formal por algum cidadão, exceto algumas que são protegidas por um alto grau de sigilo devido à necessidade de manutenção da segurança coletiva.

Essa iniciativa dos órgãos e entidades públicas de divulgar informações de caráter geral ou coletivo, mesmo que não tenha sido feito um pedido formal por parte do cidadão, pode ser considerada como o princípio da “transparência ativa”, visto que a transparência é “ativa” por conta de que parte desses órgãos e entidades públicas tem a necessidade de avaliar e divulgar toda aquela informação que é de interesse socialmente coletivo.

Com base no art. 3 da Constituição Federal de 1988, o Estado tem várias funções para com a sociedade, sendo de responsabilidade dele assegurar o exercício dos direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos, fundada na harmonia social e comprometida (BRASIL, 1988).

Para tanto, o Estado necessita de receita, obtida por meio da capacidade tributal, ou seja, por meio da cobrança de tributos, na forma de impostos, taxas e contribuição de melhorias. Além dos serviços e das obrigações para com a sociedade, o Estado precisa prestar conta dos gastos no que se dá aos investimentos dos recursos públicos, visando a garantir o direito constitucional dos cidadãos ao livre acesso a qualquer informação pública de responsabilidade da união, dos Estados, do Distrito Federal e dos municípios. Pela necessidade de uma transparência devida surgiu, assim, a Lei nº 12.527, conhecida como Lei de Acesso à Informação, sancionada em 18 de novembro de 2011 pela presidente Dilma Rousseff. Essa lei provoca grande mudança na administração pública (BRASIL, 2011). O incentivo à cultura de transparência na administração pública é uma de suas diretrizes.

Existem duas maneiras para que se cumpram os preceitos instituídos pela Lei de Acesso à Informação (veja figura 1): a) transparência ativa, que é a divulgação das informações à sociedade pelo setor público, sem a necessidade da solicitação; b) transparência passiva, que é a divulgação de informações públicas solicitadas pela sociedade.

Figura 1–Transparências ativa e passiva.



Fonte: Controladoria Geral da União (2017).

Quando as informações forem consideradas de interesse geral, os órgãos e entidades responsáveis devem considerar a transparência ativa, buscando deixar explícito de forma facilitada na internet o máximo de informações possíveis. Esse tipo de transparência é a mais vantajosa, pois nela a administração pública tem um custo para divulgar as informações e milhares de pessoas podem acessá-la, já na transparência passiva a administração pública consegue atender somente a quem solicitou a informação.

II. PROCEDER METODOLÓGICO

Esta seção do artigo apresenta o procedimento metodológico, sendo ele utilizado para a elaboração do mesmo. Inicialmente, procurou-se definir o método de estudo; por se tratar de um estudo de caso único, segundo Yin (2014) “O estudo de caso, representa uma maneira de se investigar um tópico empírico seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados”, este será realizado junto ao município pernambucano de Igarassu, classificado como sendo uma pesquisa não exploratória, mas sim uma pesquisa de aprofundamento, ou seja, estudar especificamente como se da à transparência do município em relação aos gastos referentes aos recursos públicos; ele também é descritivo, buscando descrever os dados como foram encontrados sem que a pesquisadora faça nenhuma inferência/alteração sobre estes.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa é tida como documental; segundo Santos (2001), pesquisa documental é aquela realizada a partir de documentos, contemporâneos ou retrospectivos, considerados científicamente autênticos; ela é realizada em fontes como tabelas estatísticas, cartas, pareceres, documentos informativos arquivados em repartições públicas, etc. Quanto à abordagem, a pesquisa é mista, sendo qualitativa assim como quantitativa, ou seja, quali-quant. Com relação à abordagem de levantamento dos dados empírico, a pesquisa é tida como qualitativa, uma vez que busca as informações que a população procura com relação ao uso dos recursos públicos. Já o aspecto quantitativo se dá com relação aos tratamentos dos dados, uma vez que as informações coletadas junto ao município pernambucano de Igarassu acontecem pelo portal de transparência ou por documentos internos da prefeitura para esse controle.

2.1 - *O Estudo de Caso*

Este estudo busca investigar quais são as informações financeiras e orçamentárias de evidenciação da aplicação dos recursos públicos no município pernambucano de Igarassu no que se refere ao seu portal de transparência.

Igarassu é uma cidade do Estado brasileiro de Pernambuco. Encontra-se situado no litoral e faz parte da Região Metropolitana do Recife, localizada a 27 km da capital pernambucana. Administrativamente é formado pelos distritos sede, Nova Cruz e Três Ladeiras. Sua área de unidade territorial no ano de 2019 em (km²) era de 305,507, sua fundação se deu no dia 27 setembro de 1535. População estimada para 2019 é de 117.019 (fonte IBGE) e tem como seu atual prefeito o sr. Mario Ricardo (PTB) (IBGE, 2017).

Em Igarassu encontra-se a mais antiga igreja em funcionamento do país, a de São Cosme e São Damião. Controle social, cidadania e transparência fiscal são os três princípios deferidos pelo governo municipal (PREFEITURA DE IGARASSU,2018). A administração municipal responsabiliza-se por manter as informações relacionadas às contas públicas, de interesse da população, atualizadas como assim determina a lei. A escolha da cidade de Igarassu se deu pela observação do histórico referente à economia do município (veja quadros 1 e 2).

Quadro 1 - Receita versus Despesa Orçamentária (2016)

Receita versus Despesa e receitas orçamentárias (2016)			
Variável	Igarassu	Pernambuco	Brasil
Receitas	164.707,00	461.146.647	6.362.906
Despesas	150.260,00	412.501.044	4.932.080

Fonte: contas anuais. Receitas orçamentárias realizadas (anexo I-C) 2014 e despesas orçamentárias empenhadas (anexo I-D) 2014. In: Brasil. Secretaria do Tesouro Nacional (2015)

Quadro 2 – Produto interno bruto (valor adicionado) em 2017

Produto interno bruto (valor adicionado)			
Variável	Igarassu	Pernambuco	Brasil
Agropecuária	31.373	2.201.204	105.163.000
Indústria	904.542	9.489.597	539.315.998
Serviços	705.785	31.227.506	1.197.774.001
NOTA 1	Os dados de 2014 estarão sujeitos a revisão na próxima divulgação.		
NOTA 2	Os dados da série revisada (2010 a 2014) têm como referência o ano de 2010, seguindo a nova referência das contas nacionais.		

Fonte: IBGE (2017) em parceria com os órgãos estaduais de estatística, secretarias estaduais de governo e superintendência da Zona Franca de Manaus.

III. RESULTADOS

3.1 – O Portal da Transparência e a Lei de Acesso à Informação em Igarassu

O Portal de Transparência é um site de acesso livre, no qual o cidadão pode encontrar informações sobre como o dinheiro público é utilizado, além de se informar sobre assuntos relacionados à gestão pública em cada cidade, assim como no Brasil. Por meio dele é possível exercer a cidadania detendo as informações sobre como se dão os gastos e os investimentos do dinheiro público.

A página principal do portal de transparência da cidade de Igarassu faz menção a diversos portais, como, por exemplo, o portal de obras públicas e o portal de transparência propriamente dito.

Esse faz menção também ao que denomina **acesso à informação**. Há um link de acesso à informação, porém, ele não traz informação alguma, não estando, nesse contexto, em atendimento às diretrizes da LAI. O portal da cidade aponta ainda três links distintos, sendo o primeiro link o esclarecimento do que vem a ser o Portal de Transparência, o segundo é direcionado ao acompanhamento dos pedidos solicitados, sendo necessário para isso o preenchimento do número do requerimento de informação, que é gerado a cada solicitação feita e, por fim, o terceiro e último link, que é o formulário propriamente dito, onde o cidadão faz a solicitação da informação desejada.

Ao analisar o portal de transparência do município de Igarassu foi possível observar que há uma divisão em três campos. O primeiro campo traz informações sobre o Portal de Transparência do município, o segundo apresenta as principais publicações, as quais estão relacionadas ao atendimento a Lei de Acesso à Informação a itens de transparência ativa e o terceiro e último apresenta o campo denominado comunicação. No campo de comunicação, é

possível observar os links voltados para a estrutura organizacional, a ouvidoria, o Serviço de Informação ao Cidadão (e-Sic), informação referente à LAI, tendo como destaque o requerimento on-line de acesso a ela; ele tem disponível também um protocolo central onde é possível fazer o acompanhamento das informações requeridas.

No que se dá ao primeiro campo é possível observar alguns links que estão se relacionado com a LAI – Lei 12.527/11, como, por exemplo, a denominação do que vem a ser o Portal de Transparência, quais informações são dispostas nele, bem como as informações pela responsabilidade das publicações destas. Nesse link, a prefeitura do município faz menção à Lei 12.527/2011, no que tange aos incisos de 1 a 7 do parágrafo 3º da LAI, responsabilizando a empresa Sistema Informática Comércio e Serviço Ltda. pelas informações postadas no site de transparência, explicitando o site e o telefone, assim como endereço, e-mail, horário de funcionamento e nome do responsável pela empresa. Além disso, o link faz menção ao fato de ter informações sobre o responsável pelo portal que se faz presente para poder atender à exigência do inciso 7 do parágrafo 3º do art. 8 da LAI.

3.2 – O Portal da Transparência e o calendário de publicações

Ainda dentro do campo de Informações sobre o portal, o município de Igarassu evidencia o calendário de publicações, em que faz menção às principais informações, tais como execução orçamentária da receita e da despesa, diárias e passagens, folha de pagamento, prestação de contas, transferência recebidas da união e dos Estados, bem como processo de licitações, assim com os prazos para publicações, para as demonstrações contábeis, e instrumentos de planejamento tais como a Lei Orçamentária Anual (LOA), a Lei de Diretrizes Orçamentária (LDO) e o Plano Plurianual (PPA).

O link com relação ao calendário é explícito sobre as informações de quando as ferramentas legais devem ser publicadas no site do município, bem como qual a secretaria responsável pela publicação, que em sua maioria é de competência da secretaria de Finanças, exceto informações sobre a folha de pagamento. Além disso, a informação disponível, no próprio portal de transparência do município será compartilhada com outro portais de evidenciação de informações de gastos públicos, como é o caso do portal de transparência do Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco com relação às prestações de contas e prestações de gestão, assim também com as informações sobre demonstrações contábeis e relatório resumido de execução orçamentária.

Considerando a periodicidade das informações evidenciadas no portal da transparência da Cidade de Igarassu, no tocante aos valores das transferências governamentais constatou-se que a periodicidade de evidenciação desta informação é a data de repasse. Já a periodicidade de evidenciação das demonstrações e prestação de contas ocorre de forma anual, porém considerando a execução da receita e despesa, de forma diária e nos relatórios resumidos da execução orçamentária.

A LAI, em seu capítulo 2 instrui, por meio das diretrizes ativas, que as instituições que recebem recursos público, dentre elas o município de Igarassu, evidenciem as seguintes informações com relação à estrutura

organizacional: o organograma, a estrutura organizacional da entidade conforme cargos e nomes e endereço físico e eletrônico, telefone e horário de atendimento ao cidadão. Ao analisar o link dentro do portal de transparência da prefeitura de Igarassu que trata sobre a estrutura organizacional foi possível observar que o organograma não fora apresentado, bem como a estrutura organizacional da prefeitura, por meio de cargos e nomes, não foi apresentada dentro do link denominado Estrutura Organizacional.

Todavia, de forma diferenciada do solicitado pela LAI, a prefeitura municipal de Igarassu apresentou dentro do item Estrutura Organizacional sublinks específicos de suas nove secretarias e dentro de cada uma delas apresentou informações que, de acordo com a, estariam conforme a LAI, descrevendo as principais atribuições de cada secretaria, bem como endereço físico, telefone, horário de atendimento, e-mail, além do nome do responsável por ela.

3.3 – O Portal da Transparência de Igarassu e suas principais publicações

Em meio ao portal de transparência do município de Igarassu há um conjunto de informações denominadas principais publicações, que estão divididas em 14 grupos: carta de serviços, aviso de licitação, planejamento orçamento anual, receita, despesa, Dados aberto – web service, licitações e editais, contratos e aditivos, folha de pagamento atos de pessoal, acompanhamento de programas, ações projetos e obras, repasses e transferências financeiras, Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF), prestação de contas anual e o e-SIC – Serviço de Informação ao Cidadão.

No link de acesso **Cartas de Serviços** encontram-se os serviços prestados ao cidadão por uma determinada entidade pública, especificando os padrões de qualidade de tempo de espera no atendimento, prazos para a conclusão dos serviços solicitados, orientações quanto aos mecanismos de comunicação com os usuários, além de procedimentos para acolhimento de sugestões e gestão das reclamações. Nele é possível também ter acesso às informações em relação à estrutura organizacional entendendo a responsabilidade de cada órgão e as exigências que este faz mediante a abertura de uma solicitação do cidadão, especificando a documentação necessária para a entrada no pedido de serviço específico.

O link Aviso de Licitação não disponibiliza nenhuma informação. No link Planejamento Orçamentário Anual, a prefeitura apresenta informações sobre os instrumentos de planejamento do governo, no que se dá a Lei Orçamentária Anual (LDO), onde o governo define as prioridades contidas no PPA e as metas que deverão ser atingidas no ano vigente, o que disciplina todas as ações do governo federal, Lei de Diretrizes Orçamentária (LDO) e estabelece as metas e prioridades para o exercício financeiro seguinte, fazendo a orientação e a elaboração do orçamento, além de estabelecer a política de aplicação das agências financeiras de fomento e dispor sobre alteração na legislação tributária. O Plano Plurianual (PPA) é um instrumento previsto no art. 165 da Constituição Federal de 1988 destinado a organizar e viabilizar a ação pública, com vistas a cumprir os fundamentos e os objetivos da República. Por meio dele é declarado o conjunto das políticas públicas do governo para um período de quatro anos e os caminhos trilhados para viabilizar as metas previstas. Essas informações estão para acesso de todo aquele que

desejarem, sendo exibidas no formato *portable document format* (PDF).

No link de Receitas, o cidadão pode coletar de forma direta informações sobre receitas, sendo necessário apenas descrever o período e o tipo de receita que deseja. Esse link nos apresenta os valores financeiros das unidades gestoras do município de Igarassu, valores dos impostos, taxas de contribuição de melhorias, taxas de prestação de serviços, entre outros, estabelecendo os valores orçados e os valores arrecadados como um todo; disponibiliza também informações sobre a receita extraorçamentária, disponibilizando valores de receitas extras, descrevendo os clientes e a descrição do ente da gestão pública.

O link Despesas está subdividido em diversos itens, sendo eles Empenhos, Liquidações, Pagamentos, Despesa Consolidada por Classificação Orçamentária, Diárias, Passagens e Despesas com Locomoção, Restos a Pagar e Pagamentos Extraorçamentários. Em relação às informações caracterizadas em empenho, o cidadão pode buscá-las por fornecedor o tipo de empenho; ainda dispõe-se de um filtro, podendo selecionar as informações de empenho relacionadas a diárias, passagens e despesas com locomoção, obras e licitações. Além disso, o cidadão pode fazer o filtro pela unidade gestora como, por exemplo, Prefeitura Municipal de Igarassu, Fundo Municipal de Saúde (FMS) de Igarassu, Empresa de Urbanização de Igarassu (URBI) ou Fundo Municipal dos Direitos da Criança e Adolescente de Igarassu (FMDCA). O item Liquidação apresenta liquidações de obras, passagens e despesas com locomoção e diárias com as unidades gestoras já citadas acima, também buscadas por período ou fornecedor, podendo ser encontradas informações de pessoas físicas ou jurídicas. O item Pagamento apresenta informações no que se refere aos valores pagos aos fornecedores, além de apresentar as unidades gestoras e as descrições dos serviços realizados. A busca por informações em meio a tal item também é por meio do período e/ou fornecedor. O item Despesa consolidada por classificação orçamentária, apresenta filtros para preenchimento de data de início e fim para o agrupamento de informações das receitas das unidades gestoras. Esse agrupamento pode ocorrer por órgão/unidade orçamentária, ação governamental, função, subfunção, programa, despesa orçamentária, categoria econômica, grupo da despesa, modalidade de aplicação, elemento da despesa, fonte de recurso e dotação, sendo possível por meio desses agrupamentos a geração de um relatório analítico. O item Diárias apresenta os valores de empenho das unidades gestoras, sendo esses apresentados por período e/ou fornecedor, podendo ser exportados em formatos PDF, XLS e CSV. Passagens e Despesas com Locomoção apresenta as liquidações e os pagamentos, além dos tipos de empenho, se estimativos ou ordinários, descrevendo os valores mensais pagos por um serviço específico de viagens a uma determinada empresa.

Restos a Pagar são despesas que ocorreram em diversos períodos, podendo estas ter sido empreenhidas e liquidadas, porém, não pagas ou até mesmo empenhadas, liquidadas, porém, canceladas. Esse link permite ao cidadão fazer a busca desta despesa por período, podendo ser pessoa física ou jurídica; o cidadão pode ainda armazenar tais informações buscadas em formatos facilitados como Excel ou PDF.

O item Pagamentos Extraorçamentários apresenta as despesas extras, podendo ser buscadas por unidade gestora, além de por período ou fornecedor. Apresenta ainda a data de pagamento e o valor pago ao fornecedor.

O quadro 3 a seguir apresenta os 11 órgãos concedentes com maior somatório de valores liberados dos convênios no município de Igarassu. Os demais órgãos são apresentados na linha “Outros”. São considerados os convênios do Portal da Transparência do governo federal registrados a partir de 1º de janeiro de 1996.

Quadro 3 – Receita de transferencias governamentais recebidas pelo município de Igarassu

Valor total liberado por órgão concedente	Valor (R\$)
Ministério da Educação	1.809.682,46
Ministério das Cidades	1.664.712,80
Ministério da Saúde	749.073,60
Ministério do Turismo	385.106,86
Ministério da Cultura	160.000,00
Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento	156.000,00
Ministério do Meio Ambiente	100.000,00
Ministério do Desenvolvimento Agrário	30.000,00
Ministério do Esporte	15.000,00
Outros	2.845.845,47

Fonte: Prefeitura de Igarassu (2018).

Já o quadro 4, a seguir, apresenta os valores das Receitas de Transferências Governamentais recebidas no período de 2014 a 2018 nas seguintes áreas: encargos especiais, assistência social, saúde, educação, urbanismo, comércio e Serviço.

Quadro 4 – Receita de transferências governamentais recebidas pelo município de Igarassu por função (área)

Área	Acumulado 2014	Acumulado 2015	Acumulado 2016
Encargos Especiais	51.271.761,16	52.056.340,60	58.872.340,80
Assist. Social	23.853.654,79	23.460.310,16	22.220.096,74
Saúde	17.235.998,33	19.479.897,53	17.204.370,51
Educação	7.709.055,25	8.229.715,23	7.665.790,67
Urbanismo	xxxxxxxx	810.268,20	756.944,60
Comér. e Serviço	xxxxxxxx	292.500,00	92.606,86

Fonte: Prefeitura de Igarassu (2018).

3.4 – O Portal de Controle e Acompanhamento de Obras Municipais: um diferencial dentre os portais da transparência

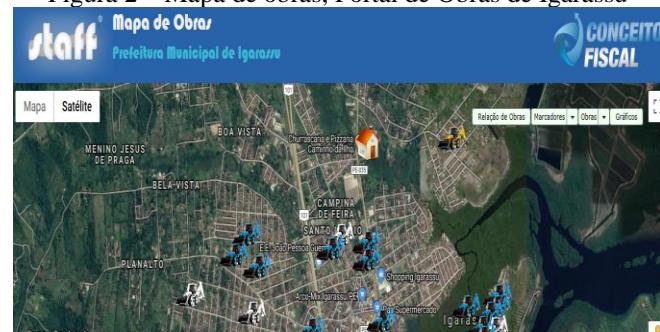
No Portal de Transparência do município de Igarassu foi possível encontrar outro portal denominado Portal de Controle e Acompanhamento de Obras Municipais. Na abertura do link desse portal encontra-se um texto sinalizando que esse instrumento surge com o objetivo de atender à LAI, bem como atender por meio da tecnologia

instruções normativas do Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco TCE/PE que datam de 2009 a 2014.

Nesse portal vê-se o mapa de todo o município de Igarassu, assim como três links de fácil manuseio, em que o primeiro faz relação das obras, apresentando um relatório analítico ou sintético “ficando a critério do usuário tal escolha”, sendo necessário para tal informação fazer o preenchimento do exercício e data de início e fim.

O segundo é representado pelos marcadores, a busca pode ser dada pelos bens de uso comum, que são tidos como imobilizados, por enquetes, área de risco ou obras. Caso seja feito o filtro por obras é possível gerar um gráfico com informações não apenas sobre as obras propriamente ditas, mas também sobre o custeio delas, sinalizando quais os fornecedores que mais receberam recursos, quanto foi gasto, além de ser identificado quanto cada um desses recebeu em meio a cada exercício específico (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de obras, Portal de Obras de Igarassu



Fonte: Prefeitura de Igarassu (2018).

Além disso, no campo relacionado a obras é possível fazer o acompanhamento da unidade orçamentária, ou seja, é possível constatar de onde vieram os recursos utilizados na obra, se da prefeitura ou de alguma secretaria específica. O terceiro e último link é apresentado pelas obras, onde é possível fazer o acompanhamento delas, sendo descritas como a iniciar/em andamento, concluída, paralisada ou não iniciada.

IV. CONCLUSÃO

Esta seção do relatório apresenta as considerações finais obtidas durante a realização deste estudo. Foi possível notar que a Prefeitura do Município de Igarassu vem procurando atender às diretrizes da Lei de Acesso à Informação no que tange às diretrizes ativas. Em meio à transparência ativa, o município vem buscando evidenciar informações quanto à estrutura organizacional, com relação à Lei de Acesso à Informação, bem como evidenciar os seus instrumentos de planejamento, como a Lei Orçamentária anual, Lei de Direito Orçamentário e Plano Plurianual. Além disso, a prefeitura de Igarassu traz dois tipos de informações que visam a melhorar a qualidade das evidenciações das informações para o cidadão, o calendário de atividades e o portal de obras.

No calendário de atividades, a prefeitura busca evidenciar o tipo de informação que será publicada e qual a periodicidade com que será publicada, bem como qual a secretaria responsável por ela. Além disso, a informação pode ser publicada no site da cidade ou por algum outro órgão público como o STN ou a própria secretaria da Fazenda do Estado, portal nos municípios, entre outros.

Outro achado importante é o Portal Obras, um plus que a prefeitura disponibiliza, voltado para o que tange às evidenciações de caráter patrimonial. Por meio desse portal é possível verificar se a obra está no início, meio ou fim, quanto foi gasto e qual a empresa responsável pela execução da obra, além de poder verificar o seu nível de acabamento. Vale ressaltar que a prefeitura teve cuidado com relação ao acesso à informação, é tanto que por meio do Portal de Transparência é possível que deficientes auditivos e visuais possam ter, por meio facilitado, acesso ao formulário para a solicitação de informações a fim de que sejam atendidos em sua demanda por informações.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, 1988.

_____. Lei nº 12. 527, de 18 de novembro de 2011: Regula o acesso a informação previsto no inciso XXXIII do Art. 5º, no Inciso II do § 3º do Art. 37 e no § 2º do Art. 216 da Constituição Federal; altera a lei nº 8112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, dispositivos da lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 de novembro 2011.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO (CGU). **Escola Virtual**. 2017. Disponível em:<<https://escolavirtual.cgu.gov.br/ead/mod/book/view.php?id=497&chapterid=103.->>. Acesso em: 5 abr., 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Igarassu**: painel economia. 2017. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/economia.php?codmun=260680>> . Acesso em: 26 dez., 2019.

IUDÍCIBUS, Sérgio de; MARION, José Carlos; FARIA, Ana Cristina de. **Teoria da Contabilidade**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

PREFEITURA DE IGARASSU. **Portal da Transparência**. 2018. Disponível em: <<http://pe.transparencia.gov.br/tem/Igarassu/receitas/porarea/favorecidos?exercicio=2017&funcao=28&acao=006M>>. Acesso em: 18 ago., 2019.

PADOVEZE, Clóvis Luís. **Sistema de Informações Contábeis**: Fundamentos e Análises. . 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SANTOS, Antônio Raimundo dos. **Metodologia Científica: a construção do conhecimento**. 4. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2001.

SECRETARIA DO TESOURO NACIONAL (STN). Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SICONFI). Brasília, DF, [2015]. Disponível em:<<https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/index.jsf>>. Acesso em: 26 dez., 2019.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

ELEMENTOS RELATIVOS AOS CONCEITOS JURÍDICOS SOBRE CONCESSÃO, LICITAÇÃO E COMPRAS GOVERNAMENTAIS

ELEMENTS RELATING TO LEGAL CONCEPTS ON CONCESSION, BIDDING AND GOVERNMENT PURCHASES

LUIS RENATO VEDOVATO¹; DANIEL FRANCISCO NAGAO MENEZES²; NATHALIA HIDALGO LEITE¹

1 – UNICAMP; 2 – MACKIENZIE

lrvedova@unicamp.br; nagao.menezes@gmail.com; nathaliahidalgo@hotmail.com

Resumo - Os governos realizam as concessões e licitações seguindo normas pré-determinadas pelo Direito. A ideia é que o espaço de decisão do administrador público seja o menor possível, permitindo que seus atos sejam controlados pelos outros poderes. Isso se chama princípio da legalidade da administração pública. O processo atual de compra pública começa a formar no Brasil na década de 30 com a construção de um modelo burocrático de gestão que procura suplantar a confusão entre os interesses público e privado que vigia tanto no Império como na República Velha. Este trabalho tem, portanto, uma dupla meta: (i) melhor conceituar elementos básicos da legislação sobre concessão e licitação no Brasil; (ii) analisar as implicações legislativas em eventuais alterações regulatórias

Palavras-chave: Leilão combinatório. Energia elétrica. Poder de compra.

Abstract - Governments carry out concessions and bidding following rules predetermined by law. The idea is that the decision space of the public administrator is as small as possible, allowing his acts to be controlled by other powers. This is called the principle of legality in public administration. The current public procurement process began its formation in Brazil in the 1930s with the construction of a bureaucratic management model that seeks to overcome the confusion between public and private interests that prevails both in the Empire and the Old Republic. Therefore, this work, has a double goal: (i) to better conceptualize basic elements of the legislation on concession and bidding in Brazil; (ii) analyze the legislative implications of any regulatory changes.

Keywords: Combinatorial auction. Electricity. Purchasing power.

I. INTRODUÇÃO

As relações estatais passam a ser todas impessoais. A introdução de Concursos Públicos para contratação de pessoal e, as Licitações, processos pelos quais se consubstanciam as Concessões, também chamadas de Compras Governamentais, que se revestem de importância crescente no cenário global da atualidade, impactando a economia dos Estados e a vida social dos indivíduos.

Para se ter uma visão mais clara, nas economias desenvolvidas, desde 2008, as compras públicas remontam algo entre 15% e 20% do Produto interno Bruto (PIB), atingindo uma faixa entre 30% e 40% do PIB nas economias

em desenvolvimento e em transição. Estes números transformam o Estado no principal e maior agente econômico do país. De fato, há uma incontável gama de produtos e serviços que podem interessar aos órgãos públicos, desde *commodities* até produtos de altíssima tecnologia. Além disso, são realizadas concessões públicas, o que também movimenta a economia e incrementa o PIB (ANDERSON, 2008).

O tema está, naturalmente, inserido no campo de estudos dos contratos com o Estado. De acordo com o Huck (1989), no século XX, o estado se agigantou, passando a ter importância enorme na economia. Por conta disso, toda atuação do Estado com implicações econômicas se mostra relevante para que as dificuldades trazidas pela crise atual sejam superadas (ANDERSON, 2008).

No âmbito internacional, os contratos com o Estado podem fazer nascerem pendências entre particulares e os Estados, daí a relevância do tema na questão envolvendo imunidade de soberania. Compras Governamentais é, também, tema que enseja iniciativas de grandes organizações internacionais, cada qual atuando em campo próprio, e de blocos regionais.

Assim, o Banco Mundial, através de suas *Guidelines on Procurement under BIRD Loans and IDA Credits*, orienta as compras dos países mais pobres até os de renda média; a UNCITRAL fornece legislação modelo sobre o tema, constantemente atualizada, influenciando a legislação doméstica de vários países, mais especialmente, os não-desenvolvidos; a OCDE, com sua *Convention on Combating Bribery of Foreign Public Officials in International Business Transactions*, pugna pela integridade nas compras públicas; e a OMC, com seu acordo próprio sobre o tema, está presente em diversas áreas como não-discriminação, competitividade, solução de controvérsias, acesso de novos membros, ampliação de cobertura, entre outros temas.

O mesmo vale para o âmbito nacional vez que as compras públicas podem e devem ser utilizadas para o desenvolvimento econômico de determinados setores ou grupos econômicos, formando o que denominamos Poder de Compra do Estado, o qual é direcionado estrategicamente para determinados fins como, por exemplo, inclusão social

ou ainda questões ambientais no caso das “compras verdes” (MENEZES, 2019).

Como exposto, as compras governamentais são fundamentais para as economias modernas. Assim, sua regulação passa por ações e esforços de cooperação internacional, pois, a fluidez com que os governos trabalham com esse instituto pode ser determinante para permitir que suas empresas participem de licitações e concessões em outros países. Dessa forma, o Brasil poderia abrir seu mercado de compras governamentais na mesma proporção em que outros países fizessem essa abertura para empresas brasileiras, evitando a destruição do mercado interno, como já ocorreu em alguns momentos históricos, e permitido que a abertura se transforme em desenvolvimento. Nesse sentido, o argumento do desenvolvimento econômico, e não o suposto argumento de proteção da empresa nacional, deve ser utilizado para tomar decisões nesse campo (MENELL, 2000).

O correto manejo do poder de compra estatal desenvolve social e economicamente regiões e setores, criando uma forma mais eficaz e justa do que a transferência direta de renda, fortalecendo a atividade empresarial local e regional, constituindo um ciclo virtuoso de crescimento. A compra pública é o processo mais transversal da administração pública, uma vez que, multiplica seu poder transformador na sociedade.

Mesmo argumento que deve ser utilizado para adequações regulatórias, ou seja, os avanços regulatórios que não exigem alterações de lei ou da Constituição devem ser baseados em elementos concretos e bem fundamentados demonstrando as vantagens econômicas, sociais e ambientais para se atingir o interesse público.

A Licitação é obrigatória para toda Administração Pública e deve seguir vários princípios, conforme preconizado no art. 37 caput e inciso XXI da Constituição Federal vez que esta determinou a adoção do modelo de gestão burocrático, muito embora alguns tentem negar.

Odete Medauar que entende que a, “Licitação, no ordenamento brasileiro, é processo administrativo em que a sucessão de fases e atos leva à indicação de quem vai celebrar contrato com a Administração. Visa, portanto, a selecionar quem vai contratar com a Administração, por oferecer proposta mais vantajosa ao interesse público. A decisão final do processo licitatório aponta o futuro contratado” (MEDAUAR, 2018).

Já segundo Carlos Ari Sundfeld: “Licitação é o procedimento administrativo destinado à escolha de pessoa a ser contratada pela Administração ou a ser beneficiada por ato administrativo singular, no qual são assegurados tanto o direito dos interessados à disputa como a seleção do beneficiário mais adequado ao interesse público” (SUNDSELD, 2018).

Para Celso Antonio Bandeira de Mello: “Licitação – em suma síntese – é um certame que as entidades governamentais devem promover e no qual abrem disputa entre os interessados em com elas travar determinadas relações de conteúdo patrimonial, para escolher a proposta mais vantajosa às conveniências públicas. Estraíba-se na idéia de competição, a ser travada isonomicamente entre os que preencham os atributos e aptidões necessários ao bom cumprimento das obrigações que se propõem assumir” (MELLO, 2019).

Por isso “o instituto da licitação assumiu grande importância atualmente, devido ao aumento na esfera de

atuação da Administração Pública, por meio do desempenho de novas funções exigidas pela complexidade da vida moderna” (DALLARI, 2006).

As Licitações seguem alguns Princípios:

- Princípio da publicidade: não há licitação sigilosa, sendo públicos todos os atos relativos ao procedimento, salvo o conteúdo das propostas até sua abertura (Lei nº 8666/93, art.3º, §3º);

- Princípio da igualdade: está implícito ao princípio da competitividade, já que assegura igualdade de direitos a todos os interessados em contratar, constituindo crime aquele que fraudar ou frustrar o caráter competitivo deste procedimento para obter vantagem (Lei nº 8666/93, art. 90);

- Princípio da legalidade: o procedimento licitatório deve estar inteiramente vinculado à lei, cabendo aos participantes a observância do conteúdo estabelecido na mesma (Lei nº 8666/93, art. 4º);

- Princípio do julgamento objetivo: o edital deve ser claro quanto ao julgamento a ser utilizado, devendo este último conter regras prévias e indviduosas (Lei nº 8666/93, art. 45);

- Princípio da vinculação ao edital: este ato convocatório é a “lei interna” da licitação, estando, portanto, todos os participantes a ele vinculados. O não cumprimento das condições expostas no edital implica na nulidade do procedimento;

- Princípio da adjudicação compulsória: o objeto da licitação só poderá ser atribuído ao vencedor do procedimento. A adjudicação ao vencedor é obrigatória, não podendo a Administração dar início a nova licitação, revogar a anterior, nem protelar a assinatura do contrato sem justa causa (interesse público).

A Lei nº 8.666/93 estipula no art. 22, cinco modalidades de licitação: a) concorrência ; b) tomada de preços ; c) convite ; d) concurso e; d) leilão . A Lei nº 10.520/02 institui também como modalidade de licitação o pregão, a ser utilizado na aquisição de bens e serviços comuns.

No âmbito internacional também merece ser destacado que o tema sobre Compras Governamentais foi expressamente excluído das regras de Tratamento Nacional, omitidas ainda das principais regras de comércio multilateral visando à abertura de mercados, quando das negociações que culminaram com o GATT – *General Agreements on Tariffs and Trade*, de 1947, pois se sabia que era uma temática bastante controvertida. Durante a Rodada Tóquio (1973-1979), entretanto, o assunto foi alvo das negociações que resultaram no primeiro Acordo Sobre Compras Governamentais. De forma mais direta, a regulamentação internacional tenta trazer regras uniformes para todos os países, o que poderia ser visto como um ganho de transparência, porém, invariavelmente, é visto equivocadamente como uma perda de soberania dos Estados. Pode ser entendido com equívoco, pois a criação de regras significa ganho no campo concorrencial, em todos os sentidos. Veja-se, por exemplo o tema no MERCOSUL.

Conforme apontado anteriormente, o desempenho dos mercados de Compras Governamentais tem grandes implicações para o bem-estar dos cidadãos de todo o mundo. Elas representam proporção substancial do produto interno bruto de 15% a 20%, em média, em economias desenvolvidas. Nos países em desenvolvimento e em transição com setor privado pouco desenvolvido, a proporção do produto interno bruto contabilizada pode ser substancialmente maior, na faixa de 30% a 40%, de acordo com algumas estimativas. Além disso, as Compras Governamentais tipicamente envolvem bens e serviços com especial representação econômica, social ou de desenvolvimento, podendo ser citados, o transporte e outras infraestruturas físicas, que são vitais para a competitividade das empresas para os cidadãos, além de hospitais e outros serviços de saúde pública; escolas e universidades; defesa e segurança pública (KOVACIC, 2007).

Também conforme indicado, o que se percebe é a tentativa de regulação internacional do tema, objetivando padronizar os procedimentos e também dar maior segurança aos contratantes com o Estado. A tentativa não é somente global, mas acontece também no âmbito regional.

No Mercosul, foi celebrado, em 2017, o novo Protocolo de Contratações Públicas do Mercosul (MERCOSUL/CMC/DEC. N° 37/17) que também traz conceito importante:

A contratação pública é qualquer forma de contratação de bens ou serviços, incluindo os serviços de construção, ou uma combinação deles, realizada por entidades dos Estados Partes, com objetivos governamentais e sem almejar a revenda comercial ou o uso na produção de bens ou na prestação de serviços para venda comercial, salvo se especificado de outra forma.

Como se percebe, a preocupação é criar uma roupagem geral para todos os membros do MERCOSUL, permitindo que compras e contratações governamentais sejam construídas de maneira uniforme.

Dentro do Poder de Compra do Estado, também se pode, embora existam posições contrárias, incluir as concessões e permissões estatais para explorar de determinada atividade econômica relevante, regulados pela Lei de Concessões, que traz importantes conceitos na lei 8.987/95.

Em outras palavras, nos termos do art. 175 da Constituição Federal, o Serviço Público é incumbência do Estado, que pode prestá-lo diretamente ou indiretamente. Sendo prestado indiretamente as concessões deverão ser precedidas de licitações. A Lei 8.987/95 disciplina as regras específicas a tais licitações aplicando-se, supletivamente, todas as regras da Lei nº 8.666/1993. Ou seja, não existindo regra específica, aplicam-se as disposições relativas às licitações e contratos em geral (Lei 8.666/93).

A Lei 8.987/95 estipula o dever da licitação em seu art. 14: toda concessão de serviço público precedida ou não da execução de obra pública, será objeto de prévia licitação, nos termos da legislação própria e com observância dos princípios da legalidade, moralidade, publicidade, igualdade, do julgamento por critério objetivos e da vinculação ao instrumento convocatório.

A partir dos anos 80, diversas alterações nos Serviços Públicos ocorreram decorrente da chamada Reforma do Estado levaram a um desmonte do Estado prestador, produtor, interventor e protecionista, e; a um redimensionamento de sua atuação do Estado como agente

regulador da atividade econômica. A privatização e a desregulação foram as ferramentas mais importantes das reformas neoliberais. Modificaram-se as formas de prestação de serviços públicos com o aparecimento de novos tipos de ajuste, decorrentes de consenso, acordo, cooperação, emergindo o termo parceria, “vinculado à contratualização, para abranger os diversos ajustes que expressam a colaboração entre entidades públicas ou entre entidades públicas e setor privado, ou, ainda, entre todas estas partes, envolvendo, assim, uma pluralidade de atores” (MEDAUAR, 2003).

Esta “contratualização” dos serviços públicos concedidos visa, dentro da concepção neoliberal, adequar a velocidade da administração pública à das mudanças tecnológicas e, assim o foi no setor de energia elétrica construído “a partir da idéia de ciclo completo, em que uma única e mesma empresa dominava todas as atividades pertinentes (desde a geração até a comercialização de energia). Mas o progresso científico ao longo das últimas duas décadas, propiciou alteração radical. Novas tecnologias permitem a geração de energia por processos muito mais baratos e com elevadíssima eficácia. Há plena possibilidade de competição no plano da geração da energia” (JUSTEN, 2010).

Não obstante, “a dissociação entre a titularidade econômica da fonte de geração da energia e da rede de transmissão propicia uma revolução significativa, fundada no conceito amplamente desenvolvido no estrangeiro acerca de Essential Facilities e Third Party Access (TPA)” (JUSTEN, 2001).

O avanço tecnológico também leva a uma ampliação de regras específicas de concessões decorrentes do avanço das relações econômico-sociais ocorrendo o fim da uniformidade do regime jurídico, promulgando-se novos diplomas legislativos sobre setores específicos e determinados, como as leis 9.427/96 e respectivas alterações, sobre energia elétrica e, as leis nos 9.295/96, e 9.472/97 (alterada pela lei 9.986/00), sobre telecomunicações. Surgem o direito das telecomunicações, o direito da energia elétrica e assim por diante.

Exemplo disso é a lei n. 8.987/95 distingue a concessão de serviço público (v. g. concessão de transporte urbano de passageiros) e a concessão de serviço público precedida da execução de obra pública (concessão de geração de energia elétrica a partir de potencial hidroelétrico em que somente será possível a geração de energia após a construção da usina), definindo cada uma destas espécies no art. 2º, incisos II e III, da lei. Ambos os conceitos (concessão precedida e não precedida de obra pública) carecem de melhor definição, pois incluem elementos relacionados com condições e procedimentos (ser realizada mediante licitação na modalidade de concorrência e outorgada à empresa ou consórcio que demonstre capacidade para realização do empreendimento), mas que não são requisitos de existência.

As omissões também são várias, como na lei 9.427/96, que no art. 14, IV que afirma que seu regime econômico-financeiro, conforme estabelecido em contrato, compreende a “apropriação de ganhos de eficiência empresarial e da competitividade”, não prevendo, contudo, os ganhos econômicos decorrentes do desenvolvimento tecnológico, que não resultam necessariamente da eficiência empresarial e da competitividade.

O aumento da especificidade da legislação tem o lado positivo de permitir a regulamentação precisa de setores de alta complexidade e, como lado negativo a baixa resiliência a mudanças, como é o caso das mudanças tecnológicas e, a necessidade mão de obra altamente especializada.

Exemplo desta dualidade é o campo jurídico. Desde as decisões administrativas até as decisões do Supremo Tribunal Federal (STF), as normas sobre licitações são fundamentais. Dessa forma, qualquer melhoria no formato licitatório passa ou pela reforma das normas licitatórias, como é o caso da demonstração técnica de que o leilão combinatório é mais vantajoso para a administração pública.

Como se pode perceber, as interpretações da regulação do leilão de transmissão de energia são pautadas pelo texto normativo. Em outras palavras, o intérprete não é livre para “compreender” e aplicar a norma legal segundo suas convicções, políticas, filosóficas ou religiosas, como indicam as decisões administrativas e judiciais.

Nesse sentido, a melhor alternativa é ser conservador na interpretação, o que pode ser superado apenas por uma demonstração técnica de que há melhores caminhos licitatórios. Apenas dessa forma, será possível fazer uma nova forma de licitação, por exemplo, com leilão combinatório, sem profundas alterações legislativas.

Este exemplo demonstra as vantagens da especialização a lei e, os riscos da ausência de conhecimento técnico especializado, como ocorre no Poder Judiciário e Ministério Público, instituições que de grande capacidade de intervenções nas relações econômicas, que decidem muitas vezes com base em conhecimento técnico genérico.

II. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado do ponto de vista de pesquisa exploratória que buscou entender como a Constituição Federal brasileira se relaciona com as políticas regulatórias da GD para promover o crescimento econômico. As Resoluções nº 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foram tomadas como ponto de partida para este estudo. Além disso, a literatura atual sobre o assunto também foi consultada.

III. RESULTADOS

Para que as compras governamentais, tanto apenas em Licitações quanto em Concessões, que formam processos mais complexos, possam ser tidos como realizados dentro dos limites impostos pelo Direito, é fundamental que se cumpram os dispositivos legais. Assim, seguir as normas Constitucionais e das leis específicas é imperativo.

Isso indica que o conservadorismo na interpretação das normas deve ser observado. Afinal de contas, como se sabe, a sociedade não precisa de boas leis, mas de bons sujeitos de direito, isto porquê, o sucesso das políticas públicas que estão por trás das compras públicas implica na existência de agentes públicos hábeis para compreender as situações e peculiaridades locais. Portanto, a existência de capital humano é essencial para o aperfeiçoamento do Poder de Compra do Estado.

O que encontramos muitas vezes é o despreparo de agentes públicos das carreiras jurídicas para a compreensão holística das questões envolvendo licitações e concessões de setores especializados como energia elétrica e, a partir de

2020, o saneamento básico. Decisões tecnicamente equivocadas que são realizadas com base na “liberdade de decidir” e que afetam negativamente milhares e até milhões de pessoas.

IV. CONCLUSÃO

A solução de longo prazo é a mudança institucional que permita a abertura para a participação de técnicos especialistas no processo decisório, bem como a capacitação dos próprios agentes públicos com poder de decisão e; a curto prazo – e urgente – é a melhoria da legislação, especialmente a infra legal, a qual tem a capacidade normativa de conjuntura. O melhor detalhado das questões técnicas e, o fiel cumprimento das especificações da legislação infra legal permite não só a segurança jurídica, mas também a adaptabilidade de setores inteiros aos avanços tecnológicos e econômicos.

No tocante à regulação infra legal, todavia, o caminho é a construção de bases econômicas sólidas para amparar mudança de posição do ente regulatório, que é a ANEEL. A segurança jurídica depende necessariamente de uma econômica sólida que é aquela baseada na melhor satisfação das necessidades humanas e não na taxa de lucratividade das empresas.

Atendendo a tais requisitos, protege-se o certame contra intervenções do Poder Judiciário e também se permite que o avanço regulatório aconteça em segurança, abrindo espaço para investidores nacionais e estrangeiros.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, Robert D.; YUKINS, Christopher R. International Public Procurement Developments in 2008; Public Procurement in a World Economic Crisis(2008). West Government Contracts Year in Review Conference (Covering 2008); GWU Legal Studies Research Paper No. 458; GWU Law School Public Law Research Paper No. 458. Disponível em at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1356142>

CABRAL, Vitor Neves; CASTRO, Bianca Scarpeline. Análise da implementação da política de compras públicas sustentáveis: um estudo de caso. Revista de Políticas Públicas. Vol. 24, n. 1, 2020, pp. 49-67.

DALLARI, Adilson Abreu. Aspectos jurídicos da licitação. 7^a ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

ESTORNINHO, Maria João. A fuga para o direito privado. Coimbra: Almedina, 1996.

GRAU, Eros Roberto. Capacidade Normativa de Conjuntura. In: Encyclopédia Saraiva de Direito. Vol. 13, São Paulo: Saraiva, 1977, pp. 48-50.

HUCK, Hermes Marcelo. Contratos com o Estado: Aspectos de Direito Internacional. Barueri: Gráfica Aquarela, 1989.

JUSTEN FILHO, Marçal. Algumas considerações acerca das licitações em matéria de concessão de serviços públicos”. In: MODESTO, Paulo; MENDONÇA, Oscar (orgs.). Direito do Estado. Novos rumos. Tomo II. São Paulo: Max Limonad, 2001. pp. 115-132.

JUSTEN FILHO, Marçal. As Diversas Configurações da Concessão de Serviço Público. Revista de Direito Público da Economia, Belo Horizonte, Editora Fórum, n.1, pp. 95-136, jan./mar., 2003.

JUSTEN FILHO, Marçal. Curso de direito administrativo. 6. ed. São Paulo: Fórum, 2010.

MEDAUAR, Odete. O direito administrativo em evolução. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003.

MEDAUAR, Odete. Direito Administrativo Moderno 21^a ed. Belo Horizonte: Fórum, 2018.

MELLO, Celso Antônio Bandeira de. Curso de Direito Administrativo, 34^a ed. São Paulo: Malheiros, 2019.

MENELL, Peter S. Economic Implications of State Sovereign Immunity from Infringement of Federal Intellectual Property Rights. Loyola Law Review, Vol. 33, 2000. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=256239> or DOI: 10.2139/ssrn.256239.

MENEZES, Daniel Francisco Nagao; SIQUEIRA NETO, José Francisco. Cooperativas de recolección de residuos sólidos y ofertas públicas: un estudio de caso brasileño. Revista Jurídica de Economía Social y Cooperativa, v. 35, 2019, p. 317-352.

NOHARA, Irene Patrícia. Compras Públicas. In Dicionário de Inovação Tecnológica. SIQUEIRA NETO, José Francisco; MENEZES, Daniel Francisco Nagao (orgs.). Belo Horizonte: Arraes, 2020, pp. 72-23.

OECD, The Size of Government Procurement Markets, 2001.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO. Overview of the agreement on government procurement. Disponível em: http://www.wto.org/english/tratop_e/gpa_overview_e.htm.

SUNDFELD, Carlos Ari. Contratações públicas e seu controle. São Paulo: Malheiros, 2013.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro das empresas CPFL Paulista, Foz do Chapecó Energia, Campos Novos Energia and Transmissora Morro Agudo. Este projeto foi desenvolvido por meio do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL, com número PD 00063-3042.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo material incluído no artigo.

O ENTENDIMENTO DE PROFISSIONAIS DA UNIVERSIDADE SOBRE PATENTES E SUAS IMPLICAÇÕES

THE KNOWLEDGE OF UNIVERSITY PROFESSIONALS ABOUT PATENTS AND THEIR IMPLICATIONS

RITA DE CÁSSIA BARBUIO¹; SANDRO GONÇALES FUNK¹; DENISE FECCHIO¹; RAFAEL PLANA SIMÕES¹

1 – UNESP – UNIV. ESTADUAL PAULISTA, FACULDADE DE MEDICINA (FMB), CAMPUS DE BOTUCATU

rita.barbuio@gmail.com; sagfunk@gmail.com; denise.fecchio@unesp.br; rafael.simoes@unesp.br

Resumo – No Brasil, as universidades têm relevante atuação em pesquisas de desenvolvimento tecnológico, mas escassos registros de patentes. Esse estudo avaliou se o entendimento sobre patentes por parte dos profissionais da universidade pode ter relação com o baixo número de depósito de patentes. Para isso foi aplicado um questionário no campus da Faculdade de Medicina da Unesp de Botucatu. Os dados foram avaliados por estatística descritiva e análise de correspondência múltipla. Os resultados mostraram que a maior parte dos entrevistados tem pouco conhecimento sobre o tema. As análises de correspondência mostraram que o nível de entendimento sobre patentes tem correspondência com participação em atividades formativas e que a produção tecnológica na universidade pode estar subamostrada, uma vez que os entrevistados que citam não possuir produtos patentáveis são os mesmos com pouco conhecimento sobre o tema.
Palavras-chave: Patentes. Patenteamento. Desenvolvimento tecnológico.

Abstract - In Brazil, universities have an important role in technological development researches, but a few numbers of patent registrations. This study evaluated if the knowledge of professionals from the university about patents may be related to the low number of patent filings. For this purpose, the interviewees from Medical School of Unesp - Botucatu answered a questionnaire. The data were evaluated using descriptive statistics and multiple correspondence analysis. The results showed that the majority have little knowledge about the topic. Correspondence analyzes showed that the level of understanding about patents has correspondence with the participation in training activities, as well as the university technological production may be under-sampled, since the researchers who mentioned that they do not have patentable products are the same with little knowledge about patents.
Keywords: Patents. Patenting. Technological development.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil possui ampla legislação acerca de propriedade intelectual, a qual apresenta um delineamento dos procedimentos aos interessados em garantir a propriedade intelectual sobre seus inventos (Soares-Neto, 2018). A Constituição Federal do Brasil de 1988 também assegura o direito a um bem imaterial ao seu titular (Brasil, 1988). Nesse sentido, o conceito de propriedade intelectual é bastante amplo e engloba todas as criações do ser humano e

regulamenta meios legais para a proteção dos direitos dos criadores sobre suas criações (Araújo et al., 2010). É no campo da propriedade industrial que se encontra a patente, um dos quatro bens imateriais protegidos pelo direito industrial.

As patentes no Brasil são concedidas ao titular da criação pelo Estado por meio de uma autarquia federal, no caso o Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI. Em síntese, patente é então um bem imaterial que garante a seu titular o direito à exploração de sua criação de forma exclusiva e por prazo fixado em lei (Korocoski et al., 2020).

A patente, além de assegurar o direito à exploração da criação ao titular, também fomenta o desenvolvimento da tecnologia e inovação, bem como contribui de forma direta para o desenvolvimento econômico e social de uma nação (Matias-Pereira, 2011). Segundo pesquisa publicada em site especializado em propriedade intelectual, a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI) apresentou em 2018 um relatório com estatísticas de propriedade intelectual no mundo, apontando que o número de depósito de patentes é um indicador não apenas tecnológico, mas também de desenvolvimento humano, pesquisa e educação. Apontou ainda um crescimento mundial de 5,8% das atividades de propriedade intelectual, tendo a China alcançado o primeiro lugar no número de depósitos de patentes, ao passo que o Brasil, embora tenha apresentado significativa melhora em seus índices, ocupa a décima sexta posição (Global Innovation Index, 2018).

Dentre os motivos para a baixa produção tecnológica do país, está o fato de o Brasil investir tão somente 1% do PIB – Produto Interno Bruto em Ciência e Tecnologia, ao passo que a Coréia do Sul, como comparação, investe proporcionalmente duas vezes e meia a mais na mesma área. Enquanto a Coréia do Sul em 20 anos multiplicou por cem a sua capacidade de produzir inovações tecnológicas, o Brasil apenas dobrou. Esses dados sustentam uma consistente relação entre os fenômenos de avanço tecnológico e aumento em pedidos de proteção da tecnologia pelo direito de patentes (Pimentel, 2004).

No contexto brasileiro, as universidades têm um importante papel no desenvolvimento de tecnologia

(Korocoski et al., 2020). Com a escassez de indústrias de desenvolvimento, as universidades acabam concentrando a grande parte das pesquisas de desenvolvimento tecnológico. Contudo, a hipótese aqui apresentada é que os pesquisadores das universidades podem não estar preparados para o processo de formalização/registo da propriedade intelectual, assim como a exploração dos direitos obtidos pelo patenteamento de produtos ou processos resultantes de sua pesquisa. Nesse contexto, o presente estudo apresenta os resultados de uma pesquisa realizada no Faculdade de Medicina do campus da Unesp de Botucatu abordando o conhecimento de profissionais e estudantes da universidade sobre o tema propriedade intelectual.

II. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por meio da aplicação de um questionário contendo dez questões objetivas acerca do conhecimento dos entrevistados sobre patentes e o trâmite legal a ser percorrido para a proteção dos direitos do inventor. Esse questionário foi encaminhado por meio eletrônico a docentes, pesquisadores e discentes da Faculdade de Medicina do campus da Unesp de Botucatu utilizando a plataforma *Google Forms*. O referido formulário está disponível no link: <https://docs.google.com/forms/d/12NawvPUjrYLzA1VxUDykG40TB1rF4cY6WxnboYI3T0/>. As questões, assim como suas respectivas alternativas, são apresentadas na seção Resultados. O questionário foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina de Botucatu. Todos os voluntários participantes da pesquisa apresentaram consentimento de forma eletrônica. Um total de 65 voluntários responderam ao questionário apresentado.

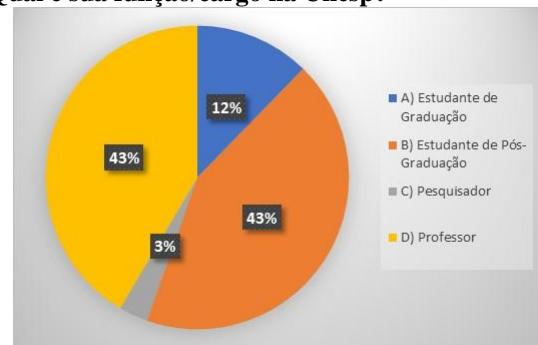
Os dados resultantes da pesquisa foram avaliados utilizando estatística descritiva e análise de correspondência múltipla (popularmente conhecida como MCA, sigla do termo em inglês *Multiple Correspondence Analysis*). A MCA é uma técnica exploratória de grandes conjuntos de dados. Sua aplicação resulta em representações gráficas desse conjunto de dados em um mesmo plano fatorial, possibilitando a inferência de correspondência entre as informações a partir de distâncias euclidianas entre esses dados no plano, formando agrupamentos (ou *clusters*) de informações correspondentes. Para sua aplicação é necessário que os dados sejam qualitativos/categóricos, sendo que no presente estudo os dados avaliados foram as alternativas às questões apresentadas. Para a análise de correspondência múltipla foi utilizada a biblioteca *FactoMineR* do software *R* (LÊ et al., 2008).

III. RESULTADOS

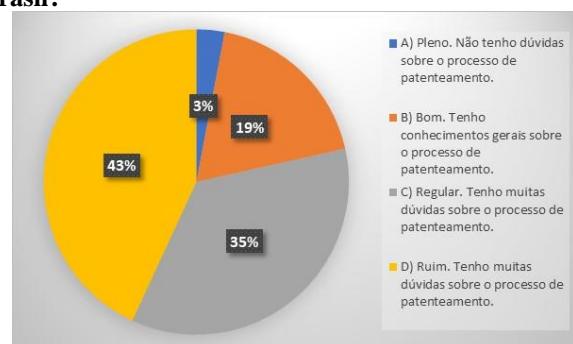
A Figura 1, na sequência, apresenta a síntese gráfica (em porcentagem) das respostas obtidas pela aplicação descrito na metodologia.

Figura 1 – Perguntas e porcentagem de respostas obtidas pela aplicação do questionário aplicado aos docentes, pesquisadores e discentes.

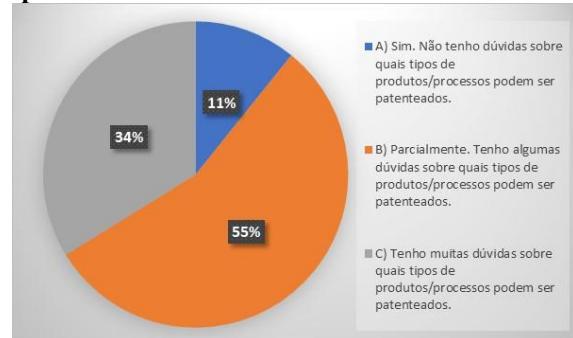
1) Qual é sua função/cargo na Unesp?



2) Como você classifica seu nível de conhecimento sobre o processo de patenteamento de produtos no Brasil?

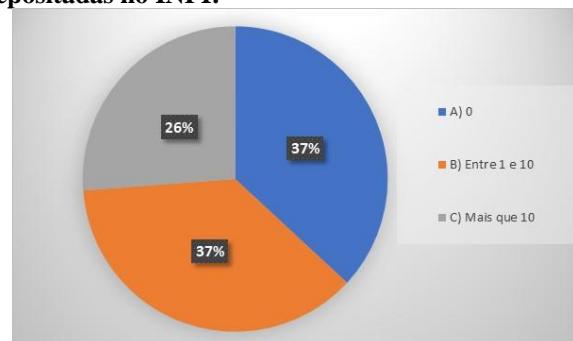


3) Você sabe quais tipos de produtos/processos podem ser patenteados?

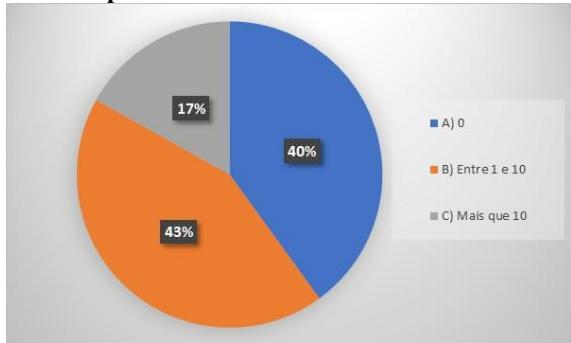


4) Responda as quantidades relativas a:

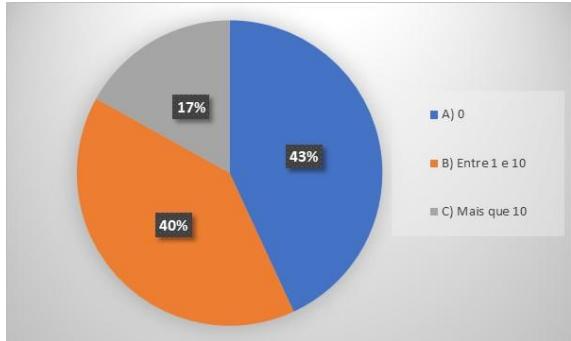
4.1-Número de patentes que atualmente estão depositadas no INPI:



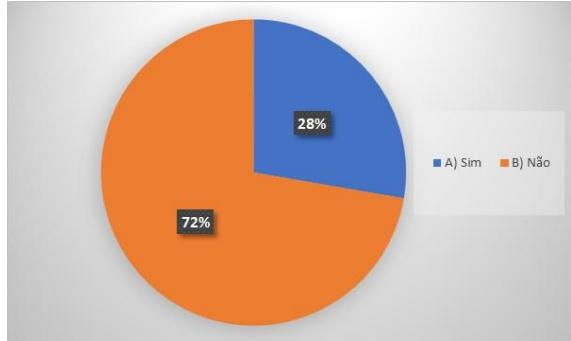
4.2-Número de patentes que atualmente estão concedidas pelo INPI:



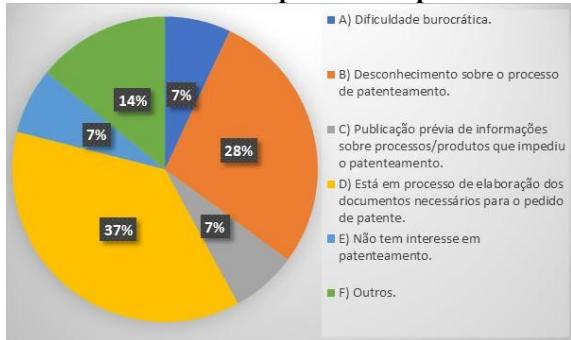
4.3-Número de patentes que atualmente estão licenciadas:



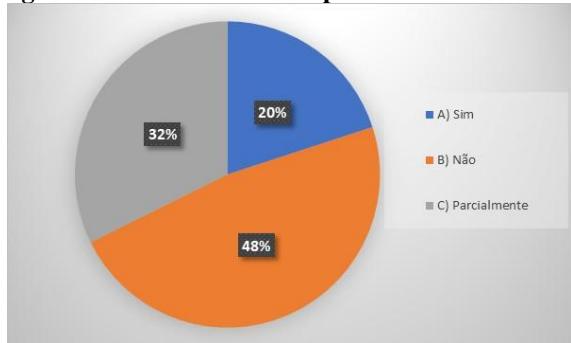
5) Você possui algum produto que acredita ser passível de patente, mas ainda não o submeteu ao processo de patenteamento?



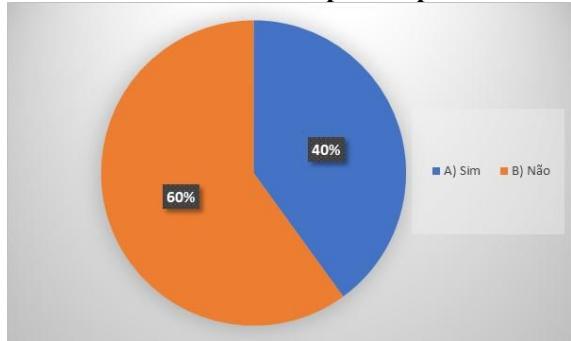
6) Se sua resposta para a questão foi SIM, por qual motivo não o submeteu ao processo de patente?



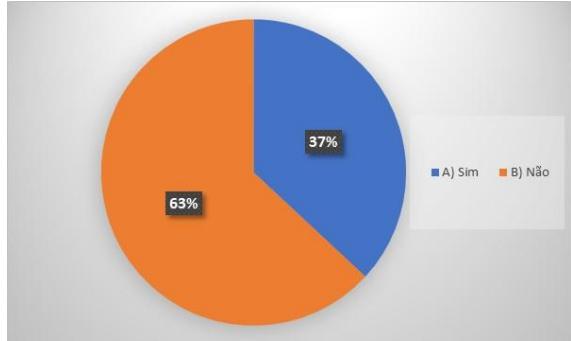
7) Tem conhecimento sobre quais direitos são assegurados ao titular de uma patente?



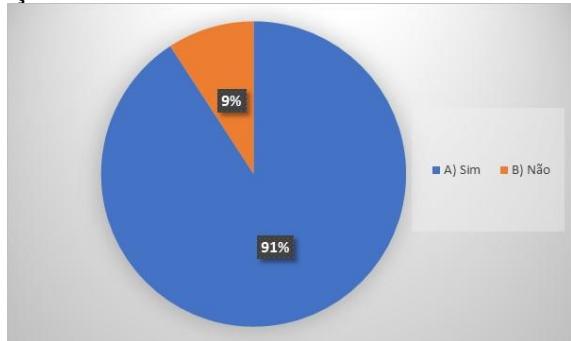
8) Já participou de alguma palestra/curso/oficina/workshop sobre patenteamento?



9) Sabe onde obter informações precisas sobre o trâmite legal a ser adotado para fins de patenteamento?



10) Possui interesse de conhecer sobre o procedimento legal a ser adotado para fins de patenteamento de criações?

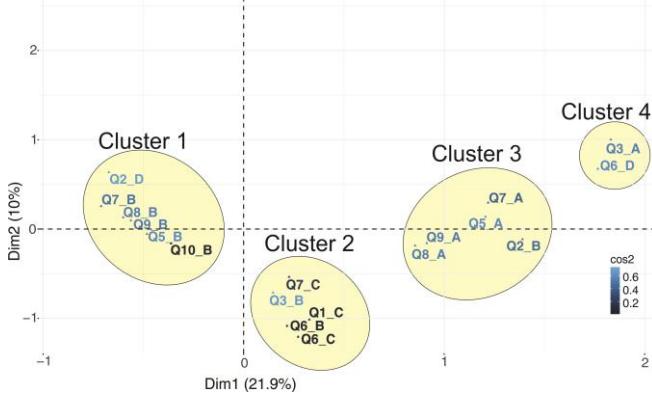


Dos resultados apresentados na Figura 1, alguns pontos devem ser destacados. O primeiro fato relevante é que, do total de entrevistados, apenas 3% afirmam ter conhecimento pleno sobre o processo de patenteamento. Soma-se a isso o fato de que apenas pouco mais de 10% dos entrevistados afirmam possuir conhecimento sobre produtos/processos que são passíveis de patenteamento. Esse resultado é interessante ao observar que 63% dos entrevistados possuem patentes depositadas no INPI, 60% possuem patentes

concedidas pelo INPI e 57% já possuem patentes licenciadas. Isso revela que passar por todo o processo de patenteamento (até a etapa de licenciamento da patente) não garante ao inventor o conhecimento pleno sobre esse processo e sobre quais processos ou produtos podem ser patenteados. Uma hipótese para explicar tal fato é que os inventores que responderam ao questionário podem não ter participado ativamente do processo de patenteamento. Na universidade pública isso pode ser explicado pela existência de agências/departamentos de inovação. Esses facilitadores acabam se responsabilizando pelo processo burocrático de depósito das patentes junto ao INPI, desde a busca de anterioridades e avaliação de patenteabilidade, até o depósito da patente e elaboração de contratos de licenciamento da patente. Contudo, esses resultados revelam a necessidade da organização de ações formativas e a disponibilização de materiais de orientação, especialmente sobre tipos de produtos ou processos patenteáveis. Essa importância é reforçada ao observar-se que a maior parte dos participantes da pesquisa não participaram de ações formativas (60%) e nem tem conhecimento sobre onde obter informações sobre os procedimentos legais para o processo de patenteamento (63%). Nesse sentido, a produção tecnológica da universidade pode não estar tendo adequadamente sua propriedade intelectual registrada, uma vez que os inventores podem não reconhecer os seus produtos/processos como patenteáveis ou ainda podem não registrar a propriedade intelectual desses produtos por desconhecimento dos trâmites burocráticos.

A Figura 2 apresenta os resultados de análise de correspondência múltipla (MCA) agrupando respostas que apresentaram correspondência. Nessa figura foram excluídas as alternativas que não puderam ser agrupadas nos *clusters* identificados e, portanto, não apresentaram correspondência com outras alternativas.

Figura 2 – Análise de correspondência múltipla (MCA) agrupando respostas aos questionários que apresentaram correspondência. Nesta figura, as respostas alternativas são apresentadas de forma abreviada. A abreviação Q2_D, por exemplo, indica a escolha da alternativa D (Rui. Tenho muitas dúvidas sobre o processo de patenteamento) como resposta à questão 2 (Como você classifica seu nível de conhecimento sobre o processo de patenteamento de produtos no Brasil?).



Avaliando o *Cluster 1*, observa-se correspondência entre as alternativas Q2_D, Q7_B, Q9_B (as quais indicam pouco sobre o processo de patenteamento) com a alternativa Q8_B (a qual indica indivíduos que nunca participaram de cursos/orientações sobre patenteamento). Esse agrupamento indica claramente que indivíduos que nunca participaram de ações formativas não tem conhecimento sobre o processo de

patenteamento, conforme esperado. A presença da alternativa 5_D nesse *cluster* indica ainda que esses indivíduos acreditam não possuir nenhum produto/processo patenteável. Contudo, a opção por essa alternativa é questionável, uma vez que esses próprios indivíduos indicaram possuir deficiências no conhecimento sobre patentes.

O *Cluster 2* agrupa as alternativas Q3_B e Q7_C (que indicam conhecimento parcial sobre patenteamento) com alternativas Q6_B e Q6_C (que agrupam indivíduos que acreditam possuir produtos passíveis de patenteamento, mas não solicitaram patente por motivo de desconhecimento sobre o processo de patenteamento ou por publicação prévia dos resultados). Esse agrupamento possui, dessa forma, indivíduos que tiveram intenção de iniciar o processo de patenteamento, mas não se aprofundaram sobre o tema e não deram segmento ao processo.

O *Cluster 3* agrupa as alternativas Q7_A e Q2_B (que indicam bom conhecimento sobre patentes) com alternativas Q8_A e Q9_A (que agrupam indivíduos que já participaram de ações formativas sobre patentes e também sabem onde buscar informações sobre o tema). Esse agrupamento também contém a alternativa 5_A, indicando que esses indivíduos acreditam possuir produto/processo passível de patenteamento. Esse resultado novamente destaca a importância dos cursos/orientações sobre patentes, os quais tem potencial para esclarecer sobre o processo de patenteamento, assim como no esclarecimento sobre quais produtos/processos podem ser patenteáveis.

Por final, o *Cluster 4* agrupa a alternativa Q3_A (que indica bom conhecimento sobre patentes) com a alternativa Q6_D (a qual corresponde a indivíduos que estão em processo de elaboração de documentos para pedido de patente). Nesse caso, o agrupamento dessas alternativas pode ser explicado porque, por estarem envolvidos no processo de patenteamento, esses indivíduos acabam por obter informações sobre patentes.

Analizando os resultados de maneira geral, é possível notar a importância das ações de formação sobre patentes no âmbito da universidade. Sabe-se que muitos pesquisadores desenvolvem projetos de pesquisa com potencial de inovação tecnológica, contudo a formalização da propriedade intelectual dessas pesquisas pode acabar não ocorrendo devido à falta de conhecimento dos pesquisadores sobre produtos e processos passíveis de patentes e também sobre o processo de patenteamento. A pesquisa demonstrou ainda que a maioria dos entrevistados possui interesse em angariar conhecimento acerca do instituto do patenteamento, o que potencializa as discussões aqui apresentadas. Nesse sentido, é importante que os órgãos facilitadores do processo de patenteamento na universidade não se dediquem apenas ao desembaraço dos trâmites burocráticos do processo de patenteamento, mas também que ofereçam ações de formação sobre o tema.

IV. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos revelam que uma significativa defasagem de conhecimento sobre o tema patentes por parte do público alvo da pesquisa: professores, pesquisadores e discentes. Essa defasagem pode ocasionar uma subnotificação das produções tecnológicas na universidade, assim como incorrer na não exploração legal dos direitos sobre a propriedade intelectual dessas produções. Por final,

os resultados revelam um importante papel das ações de formação (cursos, orientações e similares) no entendimento dos profissionais/acadêmicos da universidade sobre o tema patentes. Nesse sentido, é esperado que os resultados aqui apresentados possam contribuir para a criação de subsídios para a elaboração de ações estratégicas para estimular o processo de patenteamento na universidade.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Elza Fernandes; BARBOSA, Cynthia Mendonça Barbosa; QUEIROGA, Elaine dos Santos; ALVES, Flávia Ferreira. Propriedade Intelectual: proteção e gestão estratégica do conhecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, jul./2010, p. 1–10.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988, de 5 de outubro de 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitucional.htm>. Acesso em 18 ago. 2020.

GLOBAL INNOVATION INDEX 2018. Disponível em: <<https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4330>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

KOROCOSKI, Luana Esteche Nunes; CRISOSTIMO, Cláudia; RODRIGUES, Paulo Rogério Pinto; AYOUB, Julianno Pizzano. A transferência de tecnologia das ICTs frente ao decreto Nº 9.283/2018. **Revista Sodebras [on line]**. v. 15, n.169, jan./2020, p. 7-10. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N169.pdf>>. Acesso em 18 ago. 2020.

LÊ, Sébastien; JOSSE, Julie; HUSSON, François. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, 18 mar./2008, p. 1–18.

MATIAS-PEREIRA, J. The management system for the protection of intellectual property in Brazil is consistent? **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 3, jun./2011, p. 567–590.

PIMENTEL, Luiz Otavio. Direito de propriedade intelectual e desenvolvimento. **Cadernos de Direito [on-line]**. v. 4, n. 7, jul./2004, p. 7-26. ISSN 2238-1228. Disponível em: <<https://doi.org/10.15600/2238-1228/cd.v4n7p7-25>>. Acesso em 18 ago. 2020.

SOARES-NETO, Paulo Byron Oliveira. A propriedade industrial segundo a legislação brasileira. **Revista Âmbito Jurídico [on-line]**. n. 169, fev./2018. ISSN 518-0360. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/edicoes/revista-169/a-propriedade-industrial-segundo-a-legislacao-brasileira/>>. Acesso em 18 ago. 2020.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os professores, pesquisadores e estudantes voluntários da presente pesquisa.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

PANORAMA DA MATRIZ ELÉTRICA RENOVÁVEL BRASILEIRA

AN OVERVIEW OF THE BRAZILIAN ELECTRICAL MATRIX

DANIEL FRANZ REICH MAGALHÃES¹; DOUGLAS CERQUEIRA GONÇALVES²

1 – PROF. ESP. INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – IFES; 2 – PROF. DR. PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO – FACULDADE VALE DO CRICARÉ – FVC

danielfrmagalhaes@gmail.com; douglascerqueiragoncalves@gmail.com

Resumo – *Este artigo apresenta uma breve revisão bibliográfica sobre os principais tipos de geração de energia renovável e suas contribuições na matriz elétrica brasileira. Por meio desta pesquisa verificou-se o aumento da participação das energias renováveis na composição da matriz elétrica brasileira, com previsão de 86% de geração composta por hidráulica, eólica, biomassa e solar em 2024. Além disso, mostra-se um equilíbrio de participação entre fontes renováveis e não-renováveis na matriz energética nacional.*

Palavras-chave: Energia Renovável. Matriz elétrica brasileira. Matriz energética nacional.

Abstract – *This article presents a brief bibliographic review on the main types of renewable energy generation and their contributions to the Brazilian electrical matrix. Through this research, there was an increase in the share of renewable energies in the composition of the Brazilian electrical matrix, with a forecast of 86% of generation comprising hydro, wind, biomass and solar in 2024. In addition, there is a balance of participation between renewable and non-renewable sources in the national energy matrix.*

Keywords: Renewable Energy. Brazilian electrical matrix. National energy matrix.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com a EPE (2014), o Brasil tem buscado equilibrar crescimento econômico e necessidade de expansão de oferta de energia de uma forma ambientalmente sustentável.

Ainda de acordo com a EPE (2014), haverá um crescimento da participação das fontes de geração de energia renováveis na matriz energética brasileira, saindo de 39,4% em 2014 para 45,2% no ano de 2024, totalizando um crescimento relativo de 14,7%.

No decênio 2019-2029, se projeta uma maior diversificação da matriz elétrica brasileira que, embora ainda em sua maior parte de origem hidráulica, apresenta um crescimento expressivo de outras fontes renováveis, como a eólica e solar (EPE, 2019).

Considerando a matriz elétrica brasileira, as energias renováveis deverão representar perto de 86% em 2024. Destaque para a energia eólica que, com participação de 2% em 2014, já representa 9% em 2019 e deverá passar de 16% da matriz elétrica em 2029, devido à expansão do setor, com redução do custo das tecnologias eólicas e preço de energia competitivo (EPE, 2019).

A partir do ano de 2014, a área de energia recebeu uma previsão de investimentos em torno de 1,4 trilhões de reais, sendo que 26,7% do montante corresponderam ao segmento de energia elétrica, totalizando 37,38 bilhões de reais previstos. Ainda no ano de 2014 se iniciou uma grande ampliação da oferta de capacidade instalada para atendimento à carga de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) através de leilões, e já se observam excelentes resultados no aumento da capacidade instalada (EPE, 2014).

II. METODOLOGIA

Para a construção deste artigo usou-se a pesquisa bibliográfica, através do estudo de artigos e documentos sobre energias renováveis e suas participações na matriz elétrica brasileira.

O modelo de pesquisa bibliográfica faz com que o pesquisador entre em contato direto com o tema de pesquisa, auxiliando-o na análise e/ou na manipulação das informações (MARCONI; LAKATOS, 2017).

Esta pesquisa bibliográfica fornece informações sobre os tipos de energias renováveis existentes e traz um breve panorama sobre a capacidade instalada de cada fonte na matriz elétrica brasileira e na matriz energética nacional.

III. REFERENCIAL TEÓRICO

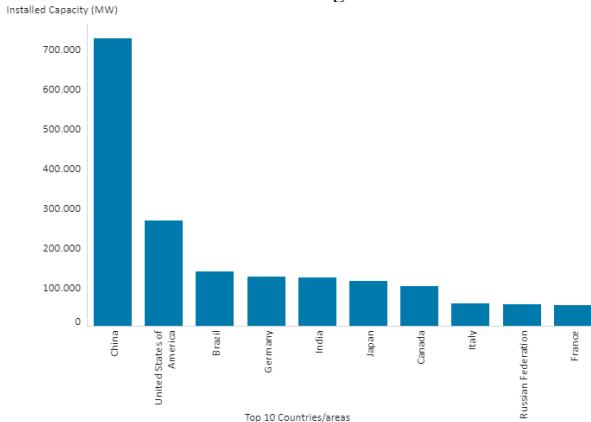
As fontes de energia renováveis provêm de recursos inesgotáveis ou que podem ser repostos a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana (REIS, 2020).

Estas fontes encontram-se já em difusão em todo o mundo e a sua importância tem vindo a aumentar ao longo dos anos representando uma parte considerável da produção de energia mundial (REIS, 2020).

Estas formas de energia citadas vêm ganhando espaço e competindo com as formas de energia tradicionais derivadas dos combustíveis fósseis (REIS, 2020).

A figura 1 apresenta um gráfico que mostra um ranking com os 10 primeiros países em capacidade instalada de geração por fontes renováveis de energia. O Brasil aparece como 3º maior em geração renovável, atrás apenas de China e Estados Unidos (IRENA, 2018).

Figura 1: Capacidade instalada de geração renovável dos dez maiores no ranking mundial



Fonte: IRENA (2018) adaptado pelo autor.

A seguir são apresentados os principais tipos de geração de energia renovável de forma mais detalhada.

Energia eólica

A energia eólica refere-se à conversão da energia cinética do vento em energia útil, que constitui uma forma de obtenção renovável e limpa (REIS, 2019a).

O vento é composto por um grande fluxo de gás na atmosfera que varia muito ao longo do ano. Esse movimento do ar é causado pelo aquecimento irregular da atmosfera, pela rotação da Terra e pelas marés, podendo ser convertido em energia útil (REIS, 2019a).

O processo de conversão da energia cinética do vento utiliza turbinas eólicas, cata-ventos e moinhos, que utilizam o princípio da conversão eletromecânica de energia (ANEEL, 2002).

A geração eólica ocorre pelo contato do vento com as pás do cata-vento, elementos integrantes da usina. Ao girar, essas pás dão origem à energia mecânica que aciona o rotor do aerogerador, que produz a eletricidade. A quantidade de energia mecânica transferida – e, portanto, o potencial de energia elétrica a ser produzida – está diretamente relacionado à densidade do ar, à área coberta pela rotação das pás e à velocidade do vento (ANEEL, 2008).

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre velocidade e regime de ventos. Os dados são coletados em aeroportos, estações meteorológicas que fornecem uma ideia inicial do possível aproveitamento da energia eólica (ANEEL, 2002).

Em termos de disponibilidade de vento, o Brasil é muito favorecido, possuindo o dobro da média mundial e também apenas 5% de volatilidade (oscilações de velocidade), o que torna a produção de energia mais previsível. Além disso, como as velocidades dos ventos costumam ser altas durante os períodos de seca, a geração eólica pode operar como um sistema de cogeração similar à geração termelétrica, que entra em operação quando a geração de energia hidráulica diminui devido a baixa dos reservatórios em períodos secos (ANEEL, 2008).

A figura 2 mostra um parque eólico em Brotas de Macaúbas-BA. O estado da Bahia foi o primeiro colocado em geração (MW médio) no ano de 2019 (ABEEOLICA, 2019).

Figura 2: Parque eólico em Brotas de Macaúbas-BA



Fonte: OLIVEIRA (2015) adaptado pelo autor.

Energia solar

A energia solar é dividida basicamente em dois tipos, térmica e fotovoltaica, que apresentam finalidades diferentes (REIS, 2019b).

A energia solar térmica consiste na transformação da irradiação solar direta em energia térmica para aquecimento de água para chuveiros ou piscinas, aquecimentos de ambientes ou até em processos industriais. As temperaturas alcançadas podem ser elevadas devido à concentração dos raios solares diretos (REIS, 2019b). A figura 3 mostra painéis solares térmicos.

Figura 3 – Painéis solares térmicos



Fonte: REIS (2019b) adaptado pelo autor.

A forma de se obter a energia solar fotovoltaica é através de células de silício. A luz solar, ao incidir sobre as placas, converte-se em eletricidade. O efeito fotovoltaico gera corrente elétrica (ANEEL, 2002).

Apesar de vários benefícios do uso da energia solar, em relação à modalidade fotovoltaica, ainda apresenta pouca representação na geração centralizada da matriz elétrica brasileira, porém com perspectiva para o crescimento, devido a redução do custo da tecnologia, incentivos fiscais, linhas de crédito com juros atrativos e preço de energia mais competitivo (SOLARIX, 2018).

O Brasil apresenta atualmente uma capacidade instalada de 4,5 GW, ocupando a 16º posição no ranking mundial em capacidade instalada fotovoltaica em 2019, porém com evolução dos investimentos, já que em 2017 ocupava a 26º posição no mesmo ranking (ABSOLAR, 2019). A figura 4 mostra a maior usina solar da América do Sul, localizada em São Gonçalo-PI (MARIA, 2020).

Figura 4: Planta Solar em São Gonçalo-PI



Fonte: MARIA (2020) adaptado pelo autor.

Energia hidráulica

A energia hidráulica foi uma das primeiras formas de energia utilizadas no Brasil. Entre suas características energéticas mais importantes, destacam-se o custo baixo por unidade energética gerada (R\$/MWh), a disponibilidade, facilidade de aproveitamento e sua renovabilidade (ANEEL, 2002).

A energia hidráulica necessita do aproveitamento do potencial energético de rios. Para sua obtenção é necessário construir usinas com certo volume de água em reservatórios para então aproveitar este potencial e converter em eletricidade. As hidrelétricas são classificadas de acordo com a potência instalada e área alagada, conforme detalhado a seguir (HIDROENERGIA, 2018a).

UHE

UHE significa usina hidrelétrica, empreendimento de grande porte com capacidade instalada acima de 30 MW e com áreas alagadas para reservatório acima de 13 km² (HIDROENERGIA, 2018a). A figura 5 mostra a usina de Belo Monte, a segunda maior do Brasil e a terceira maior do mundo em potência instalada (ITAIPU, 2020).

Figura 5: Usina de Belo Monte em Altamira-PA



Fonte: REVISTA OE (2020) adaptado pelo autor.

PCH

PCH significa pequena central hidrelétrica. Esses empreendimentos têm, obrigatoriamente, entre 5 e 30 MW de potência e menos de 13 km² de área de reservatório. A figura 6 mostra uma PCH no município de Santa Maria de Jetibá-ES (HIDROENERGIA, 2018b).

Figura 6: PCH Rio Bonito em Santa Maria de Jetibá-ES



Fonte: STATKRAFT (2020) adaptado pelo autor.

CGH

CGH significa central geradora hidrelétrica. A diferença entre CGH e PCH se dá tanto em termos de área alagada quanto de potência, sendo as CGH's menores. Esses empreendimentos podem ter o potencial de gerar até 5 MW de energia (HIDROENERGIA, 2018c). A figura 7 apresenta uma CGH no Parque Barigui em Curitiba-PR.

Figura 7: CGH Nicolau Klüppel no Parque Barigui em Curitiba-PR



Fonte: ABRAPCH (2019) adaptado pelo autor

Energia da Biomassa

Biomassa define a massa biológica, detritos de organismos vivos ou em decomposição, que é utilizada na produção de energia elétrica. Essa massa biológica pode ser de origem animal ou vegetal, como restos de alimentos, cascas de frutas, madeira, entre outros. A geração elétrica a partir da biomassa se dá por meio da termelétricidade: a energia térmica, oriunda da combustão da biomassa é convertida em energia mecânica, e depois, em energia elétrica (CBIE, 2019).

Existem algumas tecnologias utilizadas para transformar a biomassa em energia elétrica. Todas fazem a conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz que produzirá a energia mecânica que acionará o gerador de energia elétrica (CBIE, 2019). As duas principais tecnologias são:

-Combustão: a queima direta da biomassa em caldeiras é realizada a altas temperaturas na presença abundante de oxigênio, produzindo vapor a alta pressão que é usado para mover turbinas de geradores elétricos. É uma das formas mais comuns do uso energético da biomassa. Sua eficiência energética situa-se na faixa de 20 a 25% (CBIE, 2019).

-Gaseificação: a biomassa é aquecida na ausência do oxigênio, originando como produto-final um gás inflamável. Esse gás ainda pode ser filtrado, visando à remoção de alguns componentes químicos residuais. A gaseificação não exige altas temperaturas, fazendo a biomassa resultar apenas em biogás, que é usado como energia mecânica que ativa um gerador ou em caldeiras para queima direta e cogeração de energia térmica (CBIE, 2019). A figura 8 apresenta a maior usina termelétrica movida a biogás no Brasil.

Figura 8: Termelétrica movida a biogás em Caieiras-SP



Fonte: RIBEIRO (2016) adaptado pelo autor.

Energia geotérmica

Energia geotérmica é a energia obtida a partir do calor da Terra, que pode ser aproveitado em locais com atividade vulcânica, onde existam águas ou rochas a temperatura

elevada. Esta fonte de energia não é explorada no Brasil, mas é bastante utilizada em países como a Islândia, que apresentam intensas atividades geoteras. O calor provoca a evaporação de grandes quantidades de água nas camadas profundas do solo e a sua saída de forma intensa para a superfície (CAMPOS et al., 2017).

A produção de eletricidade é feita através de uma turbina movida a vapor de água, que é produzido pelo aquecimento do interior da terra. Este potencial é usado para produção de energia elétrica e como fonte de calor em estufas ou em bombas de calor, para aquecimento ou arrefecimento de edifícios (CAMPOS et al., 2017). A figura 9 mostra uma usina geotérmica na Islândia.

Figura 9: Usina geotérmica na Islândia



Fonte: HELGASON (2017) adaptado pelo autor.

Energia das ondas e marés

Gerada por meio da movimentação das ondas, a energia ondomotriz ou energia das ondas é uma fonte de energia alternativa, limpa e renovável para a geração de energia elétrica, mas que ainda é pouco explorada no mundo (BORGES, 2020).

As pesquisas da geração ondomotriz ainda estão em fase piloto. Na Europa, existem alguns protótipos de usinas de ondas na Dinamarca, Portugal e Reino Unido (BORGES, 2020).

O Brasil é o único país da América do Sul a possuir um projeto piloto de usina de ondas que fica no estado do Ceará, conforme mostra a figura 10 (GUERRA, 2020).

Figura 10: Usina de ondas no porto do Pecém-CE



Fonte: GUERRA (2020) adaptado pelo autor.

Energias renováveis e sustentabilidade

As energias renováveis reduzem substancialmente os impactos ambientais, além de contribuírem com a redução de emissão de gases de efeito estufa. Após sucessivos fóruns mundiais e debates sobre a grande dependência de combustíveis fósseis por parte da maioria dos países no planeta, há uma busca maior por fontes de energia

renováveis e limpas, que apresentam menor impacto no ambiente e que geram desenvolvimento sustentável (BERMANN, 2008).

O desenvolvimento sustentável deve possibilitar crescimento socioeconômico e cultural, fazendo uso razoável dos recursos naturais de forma a não esgotá-los para as próximas gerações. Para isso é necessário planejamento e entendimento de que os recursos são finitos (MENDES, 2018).

O pensamento sustentável promove o equilíbrio entre os focos econômico, social e ambiental (MENDES, 2018).

A sustentabilidade econômica é a manutenção do montante de investimentos públicos e privados, equilíbrio entre produção e consumo, é garantia de acesso à ciência e tecnologia com utilização eficiente dos ativos naturais (JHUNIOR; VILELA, 2018).

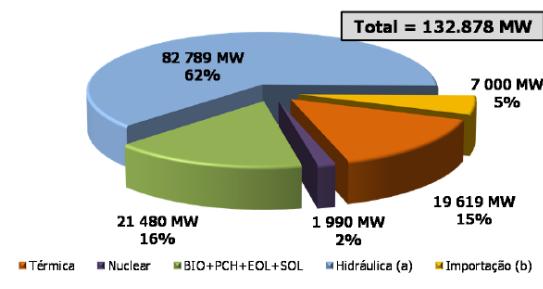
A sustentabilidade social visa o bem-estar da sociedade a partir de uma distribuição mais equilibrada da renda e dos ativos. Pode-se usar de políticas públicas que conduzam a um padrão estável de crescimento, assegurando uma melhoria dos direitos de grande parte da população e uma redução das atuais diferenças entre os seus níveis de bem-estar (JHUNIOR; VILELA, 2018).

A sustentabilidade ambiental relaciona-se à capacidade de manutenção dos ecossistemas existentes e correlaciona-se com diversos setores da sociedade. Como exemplo de sua aplicação tem-se a adoção de fontes de energia limpas (JHUNIOR; VILELA, 2018).

IV. RESULTADOS

A capacidade instalada em 2014 no Sistema Interligado Nacional (SIN) mostrou uma representatividade de 16% na matriz elétrica brasileira relativa a energias renováveis provenientes de centrais hidrelétricas (PCH's e CGH's), biomassa, eólica e solar (EPE, 2014). Somando-se a capacidade instalada hidráulica de 62% (UHE's), totalizou um montante de 78% de representação de energia renovável na matriz elétrica brasileira, um número extremamente expressivo. A figura 11 apresenta as informações com mais detalhes.

Figura 11 – Capacidade instalada por tipo de fonte no SIN em dezembro de 2014

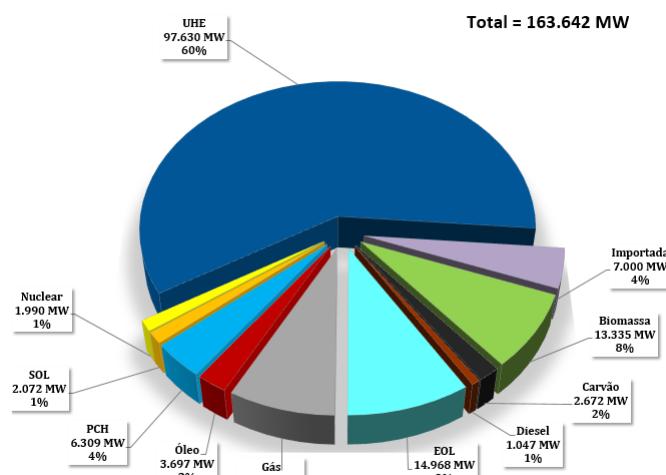


(a) Inclui a parte brasileira da UHE Itaipu (7.000 MW).
(b) Importação da parcela Paraguai da UHE Itaipu.

Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

A capacidade instalada em 2019 no SIN mostrou um acréscimo de 23,15% de energia elétrica em relação ao ano de 2014. Considerando as energias provenientes de centrais hidrelétricas (PCH's e CGH's), biomassa, eólica e solar, houve um acréscimo de 37,5% em relação ao ano de 2014 (EPE, 2019). A figura 12 apresenta com mais detalhes a capacidade instalada por tipo de fonte.

Figura 12 – Capacidade instalada por tipo de fonte no SIN em maio de 2019



Fonte: EPE (2019) adaptado pelo autor.

Considerando a potência total já contratada e também a planejada prevista até 2024, haverá um acréscimo de mais de 73 mil MW ao SIN, representando um aumento de 55% na oferta de eletricidade em relação ao ano de 2014 (EPE, 2014).

A figura 13 apresenta detalhamento deste acréscimo de energia (aproximadamente 73,6 mil MW) que fará parte do SIN até 2024, com uma grande participação das fontes de energia renováveis, composta pelas termelétricas à biomassa, PCH, usinas eólicas e solares (EPE, 2014). Ainda conforme se observa na figura 13, dos mais de 41 mil MW da expansão já contratada, 15 mil MW correspondem à biomassa, eólica, PCH e solar juntos, representando 36,2% do total contratado na expansão, número extremamente expressivo (EPE, 2014). Dos mais de 32 mil MW da expansão planejada, 20 mil MW são destas últimas fontes acima citadas, representando 61,2%, número que mostra que o Brasil está priorizando o investimento em energias renováveis de forma consistente (EPE, 2014).

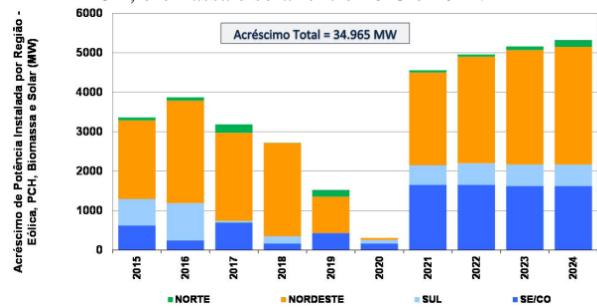
Figura 13 – Acréscimo de capacidade instalada contratada e planejada até 2024



Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

Em relação às fontes renováveis de geração eólica, PCH, termelétrica a biomassa e solar, nota-se uma expansão média anual de cerca de 10%, em relação a capacidade instalada total dessas fontes. A região Nordeste contribui com a maior participação na expansão dessas fontes ao longo do período, como pode ser visto na figura 14 (EPE, 2014).

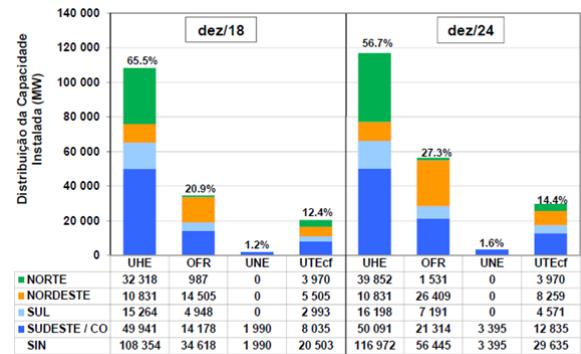
Figura 14 – Acréscimo de capacidade instalada de eólica, PCH, biomassa e solar entre 2015 e 2024.



Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

Na figura 15 observa-se a expansão de outras fontes renováveis de energia – biomassa, PCH, eólica e solar – sendo sua participação no SIN em 2018 de 20,9% da matriz elétrica brasileira e no ano de 2024 uma previsão já contratada de 27,3% da matriz, consolidando um aumento relativo de 30,6% frente a uma redução da participação da geração hidráulica (UHE) de 13,4%, ratificando o crescimento das termelétricas a biomassa, eólica, PCH, CGH e solar (EPE, 2014).

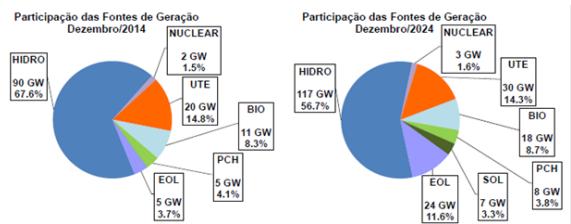
Figura 15 – Participação das fontes de geração de energia na matriz elétrica brasileira em 2018 e 2024



Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

Considerando o valor acumulado previsto no período 2015-2024, a expansão da geração envolverá investimentos da ordem de 268 bilhões de reais. Cabe ressaltar que grande parte destes investimentos refere-se às usinas já autorizadas, entre elas, as usinas com contratos assinados nos leilões de energia nova (EPE, 2014). O montante a investir em novas usinas é da ordem de 165 bilhões de reais, sendo, aproximadamente, 33% em hidrelétricas, 59% no conjunto de outras fontes renováveis (PCH + biomassa + eólica + solar) e 8% em termelétricas. A figura 16 apresenta a participação das fontes por capacidade instalada em 2014 e a projeção para 2024 já considerando os investimentos (EPE, 2014).

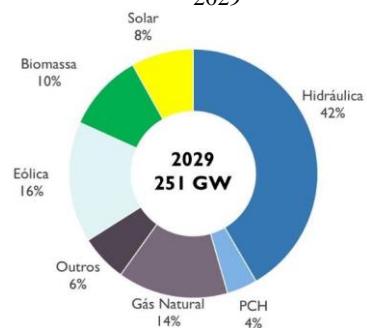
Figura 16 – Participação das fontes de geração de energia na matriz elétrica brasileira em 2018 e 2024.



Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

A figura 17 apresenta a previsão de capacidade instalada por fonte em 2029. Considerando a expansão já contratada e também a planejada, a energia solar terá um acréscimo em torno de 800% e a energia eólica de 77,8% em relação ao ano de 2019 (EPE, 2019).

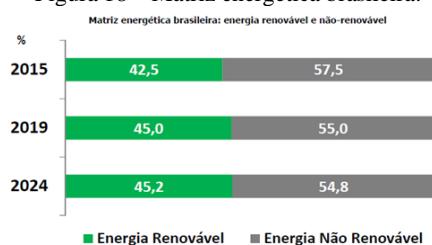
Figura 17 – Previsão de capacidade instalada por fonte em 2029



Fonte: EPE (2019) adaptado pelo autor.

Entre os anos de 2015 e 2019 houve um aumento de 5,8% na contribuição das fontes renováveis na matriz energética nacional. Entre 2019 e 2024 há uma previsão de incremento de 0,4% da contribuição das renováveis, mostrando equilíbrio na matriz energética (EPE, 2014). A figura 18 mostra a previsão da matriz energética brasileira para 2024.

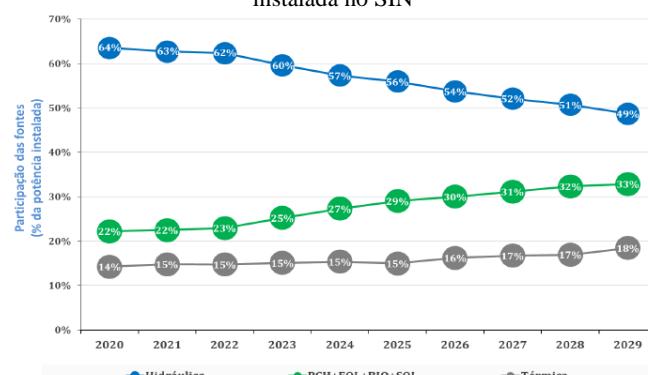
Figura 18 – Matriz energética brasileira.



Fonte: EPE (2014) adaptado pelo autor.

De acordo com a EPE (2019), entre 2020 e 2029 haverá um aumento de 50% da participação das fontes de energia renováveis compostas por PCH, CGH, termelétricas a biomassa, eólica e solar e uma diminuição de 23% da participação da energia hidráulica (UHE) no SIN. A figura 19 mostra com detalhes a participação das fontes em porcentagem da capacidade instalada no SIN.

Figura 19: Participação das fontes em porcentagem da capacidade instalada no SIN



Fonte: EPE (2019) adaptado pelo autor.

V. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa verificou-se que, apesar da projeção de diminuição da participação da energia hidráulica (UHE) na matriz elétrica nacional, as fontes renováveis eólica, solar, biomassa e PCH apresentam previsão de crescimento de 50% até 2029 (EPE, 2019).

O Brasil apresenta grande crescimento na geração de energia renovável, com previsão de 86% de participação na matriz elétrica brasileira para o ano de 2024 (EPE, 2014).

Através desta pesquisa destaca-se o crescimento da energia eólica (9% em 2019) e a projeção para 2029 de aumento da participação das energias solar e eólica, com 8% e 16% respectivamente (EPE, 2019).

Com relação à matriz energética nacional, há uma previsão de 45,2% de participação das energias renováveis frente a 54,8% de não renováveis para o ano de 2024, o que mostra um equilíbrio entre as energias alternativas frente às fósseis, focando na sustentabilidade (EPE, 2014).

Esta revisão bibliográfica apresentou de forma resumida as principais fontes de energia renovável bem como um panorama simplificado sobre a participação de cada fonte na matriz elétrica brasileira.

VI. REFERÊNCIAS

(ANEEL) Agência nacional de energia elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2002. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

(ANEEL) Agência nacional de energia elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

(ABSOLAR) Associação brasileira de energia solar fotovoltaica. **Infográfico Absolar**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

(ABEEOLICA) Associação brasileira de energia eólica. **Boletim anual de geração eólica**. 2019. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

(ABRAPCH) Associação brasileira de PCH's e CGH's. **Curitiba inaugura primeira usina em Unidade de Conservação do Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://abrapch.org.br/2019/10/01/curitiba-inaugura-primeira-usina-em-unidade-de-conservacao-do-brasil/>>. Acesso em 16 ago. 2020.

BERMANN, C. Crise Ambiental e as Energias Renováveis. Ciência e cultura. 2008. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v60n3/a10v60n3.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

BORGES, L. **Você sabe como funciona a energia das ondas?** 2020. Disponível em: <<https://autossustentavel.com/2020/04/ondomotriz-energia-ondas.html>>. Acesso em 14 ago. 2020.

CAMPOS, A.F.; SCARPATI, C.B.L.; SANTOS, L.T.; PAGEL, U.R.; SOUZA, V.H.A. Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no mundo: Aspectos ambientais e econômicos. **Revista Espacios**, vol. 38, nº 01, pág. 8. 2017. Disponível em:

<<https://www.revistaespacios.com/a17v38n01/a17v38n01p08.pdf>>. Acesso em 15 ago. 2020.

(CBIE) Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como a Biomassa se transforma em Energia Elétrica?** 2019. Disponível em: <<https://cbie.com.br/artigos/como-a-biomassa-se-transforma-em-energia-eletrica/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

(EPE) Empresa de pesquisa energética. 2014. **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2024**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Decenal-de-Expansao-de-Energia-2024>> Acesso em: 30 Ago. 2020.

(EPE) Empresa de pesquisa energética. 2019. **Plano decenal de expansão de energia (PDE) 2029**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 30 Ago. 2020.

GUERRA, Y. **Usina de Ondas do porto do Pecém, no Ceará.** 2020. Disponível em: <<https://asmetro.org.br/portalsn/2020/05/11/usina-de-ondas-do-porto-do-pecem-no-ceara/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

HELGASON, V. **Iceland champions the power of geothermal energy for the environment and businesses.** 2017. Disponível em: <<https://www.theneweconomy.com/energy/iceland-champions-the-power-of-geothermal-energy-for-the-environment-and-businesses>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

HIDROENERGIA. **O que é uma UHE (Usina Hidrelétrica)?** 2018a. Disponível em: <<https://www.hidroenergia.com.br/o-que-e-uma-uhe-usina-hidreletrica/>>. Acesso em: 17 jul. 2020.

HIDROENERGIA. **O que é uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica)?** 2018b. Disponível em: <<https://www.hidroenergia.com.br/o-que-e-uma-pequena-central-hidreletrica-pch/>>. Acesso em: 17 jul. 2020.

HIDROENERGIA. **O que é uma CGH (Central Geradora Hidrelétrica)?** 2018c. Disponível em: <<https://www.hidroenergia.com.br/o-que-e-uma-pequena-central-hidreletrica-pch/>>. Acesso em: 17 jul. 2020.

(IRENA) International renewable energy agency. 2018. **Country Rankings.** Disponível em: <<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

ITAIPU. **Comparações.** Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/comparacoes>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

JHUNIOR, R.O.S.; VILELA, N.G.S. Sustentabilidade ambiental, econômica e social: ações e práticas de pequenas e médias empresas brasileiras. **Organizações e Sustentabilidade.** 2018. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/ros/article/view/31605>>. Acesso em: 15 ago. 2020. DOI: <<http://dx.doi.org/10.5433/2318-9223.2018v6n2p59>>.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8^a ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARIA, A. **Maior usina solar da América do Sul inicia operação no Piauí.** 2020. Disponível em: <<https://piauihoje.com/noticias/economia/maior-usina-solar-da-america-do-sul-inicia-operacao-no-piaui-342134.html>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

MENDES, G. **O que é desenvolvimento sustentável?** 2018. Disponível em: <<https://cebds.org/desenvolvimento-sustentavel/#.X2VwevZKjIU>>. Acesso em: 14 ago. 2020.

OLIVEIRA, W. **Bahia torna-se o segundo maior produtor de energia eólica do País.** 2015. Disponível em: <<https://www.iguaibahia.com.br/2015/07/17/bahia-torna-se-o segundo-maior-produtor-de-energia-eolica-do-pais/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

REIS, P. **Energia Eólica.** 2019a. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/energia-eolica/>>. Acesso em 13 ago. 2020.

REIS, P. **Energia Solar – Tudo o que deve saber.** 2019b. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/energia-solar/>>. Acesso em 13 ago. 2020.

REIS, P. **Quais as fontes de energia? Tudo sobre energias renováveis.** 2020. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

REVISTA OE. **Norte energia faz doação aos indígenas da região da UHE Belo Monte.** 2020. Disponível em: <<https://revistaoe.com.br/norte-energia/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.

RIBEIRO, C. **Conheça a maior termelétrica que transforma lixo em energia do Brasil.** 2016. Disponível em: <<https://engenharia360.com/conheca-a-maior-termeletrica-que-transforma-lixo-em-energia-do-brasil/>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

SOLARIX. **Incentivos fiscais na geração distribuída de energia solar.** 2018. Disponível em: <<http://www.solarix.eco.br/incentivos-fiscais-na-geracao-distribuida-de-energia-solar/>>. Acesso em 16 ago. 2020.

STATKRAFT. **Rio Bonito hydropower plant.** 2020. Disponível em: <<https://www.statkraft.com/about-statkraft/where-we-operate/brazil/rio-bonito-hydropower-plant/>>. Acesso em 16 ago. 2020.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

RELAÇÃO ENTRE ESTILO DE VIDA E MENOPAUSA PRECOCE ATRAVÉS DA MINERAÇÃO DE DADOS

RELATIONSHIP BETWEEN LIFESTYLE AND EARLY MENOPAUSE THROUGH DATA MINING

JORGE WILLIAM PEDROSO SILVEIRA¹; ERIVELTON FONTANA DE LAAT¹; CELSO BILYNKIEVY CZ DO SANTOS²; CLAUDIO SHIGUEKI SUZUKI¹

1 – UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE DO PARANÁ (UNICENTRO);

2 – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA (UEPG)

jwps1989@gmail.com; eriveltonlaat@hotmail.com; bilynkievycz@globo.com; suzuki@unicentro.br

Resumo – A sexualidade está diretamente ligada à sensação de saúde sobretudo da mulher que tem bem pontuados o início e fim desse período, conhecido como menopausa. Quando esta acontece antes dos 45 anos é considerada precoce e está associada à diversas patologias. Para tal, o objetivo do presente estudo foi buscar através da mineração de dados relacionar quais hábitos relacionados ao estilo de vida das mulheres brasileiras estão associados com a menopausa precoce. A regressão logística apontou que os hábitos alimentares são os que mais se associam à precocidade desta fase, sobretudo, o alto consumo de sal e as constantes trocas de refeições por lanches e pizzas o que segundo a literatura pode promover doenças crônicas como hipertensão e diabetes. Conclui-se que os hábitos alimentares saudáveis inibem a precocidade na menopausa e consequentemente longevidade na vida reprodutiva da mulher brasileira.

Palavras-chave: Menopausa Precoce. Mineração de Dados. Estilo de Vida.

Abstract - Sexuality is directly linked to the feeling of health, especially for women who have punctuated the beginning and the end of this period, known as menopause. When it happens before the age of 45, it's considered early and is associated with several pathologies. To this, the objective of the present study was to seek, through data mining, to relate which habits related to the lifestyle of Brazilian women are associated with early menopause. The logistic pointed out that eating habits are the ones that are most associated with the precocity of this phase, above all, the high consumption of salt and the constant exchange of meals for snacks and pizzas, which according to the literature can promote chronic diseases such as hypertension and diabetes. It is concluded that healthy eating habits inhibit precocity in menopause and consequently longevity in the reproductive life of Brazilian women.

Keywords: Early Menopause. Data Mining. Life Style.

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma nação está diretamente ligado àquilo que representam seus cidadãos e de como se desenvolve a vida dos mesmos, conhecido como Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). O censo demográfico do IBGE (2018) coloca a evolução da expectativa de vida do brasileiro de 76,25 anos em 2018 para 78,64 anos em 2030, sendo que a expectativa de vida da mulher brasileira passará de 79,8 para 82 anos.

Corroborando com Mathers et al. (2004) de que em todos os países, há maior expectativa de vida da população feminina que convive com enfermidades ou afecções ao longo dos anos. Portanto, Lorenzi et al. (2005) e Mathers et al. (2004) publicaram que estudos sobre a saúde das mulheres são essenciais, bem como medidas que melhorem as morbididades e incrementem a qualidade de vida.

Contudo, a idade é apenas um determinante social, ou seja, é uma estimativa cronológica da população, a qualidade de vida (QV) é que mensura o quanto é aprazível viver mais, criando assim, o conceito de determinação social da saúde da mulher, levando em consideração além dos determinantes biológicos, ambientais e econômicos, o estilo de vida da mesma. Nascer, se reproduzir e morrer; esse é o ciclo natural de qualquer ser vivo no planeta. O ser humano não foge a essa regra, contudo, é o único que tem consciência da mesma e por isso, tenta lutar contra o inevitável. Essa luta aumenta quando o intervalo entre o fim do período de reprodução se mantém, enquanto a expectativa de vida aumenta gradativamente cada década.

Como afirmam (CÓRTES; PORCARO e LIFSCHITZ, 2002) o processo de busca de conhecimento KDD é um dos passos mais importantes na mineração de dados, pois é o processo que será seguido para atingir o objetivo final, sendo ele, o conhecimento. A área de Mineração de Dados busca descobrir conhecimento em diferentes segmentos de negócio, principalmente em situações nas quais há um grande volume de dados envolvido. Áreas de negócio como: Marketing, Biologia, Medicina, Ensino e Saúde, são exemplos de trabalhos que vem sendo desenvolvidos (GREGORY; PRETTO, 2016).

A função macro da informação em saúde é detectar problemas individuais e coletivos do quadro sanitário de uma população, oferecendo elementos para análise desse quadro a fim de apresentar alternativas para minimizar a situação encontrada. Este tema está intrinsecamente vinculado à pesquisa em saúde, que se constitui per se em fonte inesgotável de novos saberes, haja vista a dinamicidade inerente à própria ciência (TARGINO, 2009).

Conforme citam (MACIEL et al., 2015), a área de saúde é uma das áreas mais importantes para fazer esse tipo de

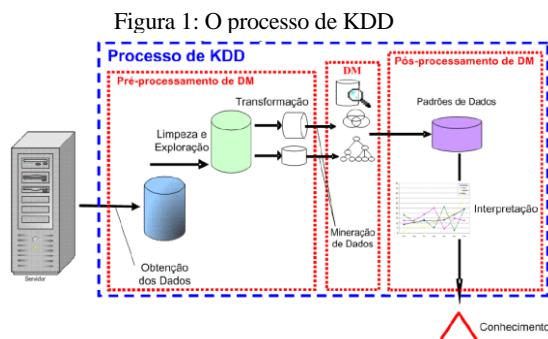
trabalho, a mineração de dados. Com isso, pode-se prevenir ou tratar diversas doenças, infecções e até mesmo tratar através de um diagnóstico. Ou seja, a finalidade da mineração de dados é encontrar regras de associação entre as variáveis, assim como a busca de padrões e a extração de conhecimento dos dados analisados. Atualmente existem diversas técnicas aplicadas ao *Data Mining*, todas elas são genéricas e podem ser implementadas por diversas ferramentas de mineração, sendo através de redes neurais artificiais, estatística ou inteligência artificial (GREGORY e PRETTO, 2016).

Segundo a OMS (2006) a sexualidade é um aspecto central do ser humano que ao longo da vida engloba sexo, identidade, gênero, orientação sexual, erotismo, prazer, intimidade e reprodução. A sexualidade é vivida e expressa em pensamentos, fantasias, desejos, crenças atitudes, valores, comportamento, práticas e relacionamentos. Embora a sexualidade possa incluir todas essas dimensões, nem todas são sempre vivenciadas ou expressas. A sexualidade é influenciada pela integração de fatores biológicos, psicológicos, sociais, econômicos, políticos, culturais, legais, históricos, religiosos e espirituais (BRASIL, 2013).

A mulher acaba sofrendo com esse fato já que sua vida reprodutiva é bastante pontual estendendo-se do momento da menarca que ocorre em média entre os 10 e 13 anos até a última ocorrência desta (menopausa) normalmente entre 50 e 55 anos, voltando ao período infértil, ou seja, entrando na última parte do ciclo, a morte; estimada em média pelo IBGE aos 82 anos entre as mulheres. Pensando nisso, nota-se que há quase um terço da vida feminina em que esta, se encontra no período infértil, levantando a questão: quais hábitos podem retardar essa infertilidade? Para tal, o objetivo do presente estudo é buscar através da mineração de dados determinar quais hábitos do estilo de vida das mulheres brasileiras se associa à menopausa precoce.

II. METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma análise descritiva de quais hábitos relacionados ao estilo de vida podem estar associados à incidência da menopausa precoce. Para tal, utilizou-se os dados do Módulo P (estilo de vida) da Pesquisa Nacional de Saúde – PNS (SZWARCWALD, 2014) com as respostas de 11.277 questionários de mulheres com média de idade de $36,4 \pm 4,2$ anos, relacionadas com a questão R026 (variável meta) “A senhora menstrua?” através da mineração de dados (KDD – Figura 1) no software WEKA 3.8, através de uma regressão logística.



Fonte: Santos et al. (2009)

A pesquisa é de base domiciliar e o plano amostral utilizado foi o mesmo dos moldes do censo demográfico e da

PNAD, contando com uma amostragem probabilística por conglomerados em três estágios, sendo os setores ou conjunto de setores censitários as unidades primárias de amostragem, os domicílios as unidades secundárias e os moradores maiores de idade selecionados as unidades terciárias (BRASIL, 2014; SZWARCWALD et al. 2014).

Para o presente estudo considerou-se apenas dados dos dois últimos formulários. Os formulários apresentam-se em módulos temáticos, cada módulo compõe um conjunto de variáveis que possibilitam dimensionar vários assuntos de interesse em saúde com maior detalhamento (BRASIL, 2013). O inquérito foi aprovado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa para Seres Humanos, do Ministério da Saúde, sob o parecer número 328.159/2013.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após extrair os dados das 72 variáveis referentes ao estilo de vida da Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) coletadas junto a 11277 mulheres entre 30 e 44 anos de idade é possível notar que aproximadamente 2,75% (311) destas afirmam não menstruar mais, ou seja, não encontrando-se mais em estado prolífico, o que permite dizer que as mesmas apresentam menopausa precoce. Nota-se que a incidência brasileira encontra-se acima do 1% citado pela literatura prévia (PIRES e FERREIRA, 2016; ASSUMPCÃO, 2014), supondo um fenômeno crescente em saúde pública.

Após isso, buscou-se o pré-processamento dos dados obtidos para obter relações que associassem hábitos de saúde destas mulheres com a fase, ou não, de menopausa precoce. Assim foram colocados os dados em formato .arff no programa Weka 3.8, onde foram submetidos à uma redução de dimensionalidade, afim de selecionar os atributos que mais oferecessem essa relação. O programa reconheceu 14 variáveis de estilo de vida diretamente relacionados a variável meta (Quadro 1) incidência ou não de menstruação) que foram 11 referentes à alimentação, 01 alusiva ao trabalho e 02 ligadas ao consumo de tabaco.

Quadro 1: Regressão logística WEKA 3.8

==== Runinformation ==== Scheme: weka.classifiers.functions.Logistic -R 1.0E-8 -M -1 -num-decimal-places 2 Instances: 11277 Attributes: 15 Test mode: 10-fold cross-validation Test mode: 10-fold cross-validation																																				
==== Classifier model (full training set) ==== Logistic Regression with ridge parameter of 1.0E-8 Odds Ratios... Class Variable não																																				
=====																																				
Consumo de sal=5 2.04 Substituição de refeição=6 1.64 Substituição de refeição=7 1.61 Consumo de leite=3 1.61 Consumo de cigarro=3 1.59 Time taken to build model: 0.96 seconds																																				
==== Stratified cross-validation ==== ==== Detailed Accuracy By Class ==== <table border="1"> <thead> <tr> <th>Class</th> <th>TP Rate</th> <th>FP Rate</th> <th>Precision</th> <th>Recall</th> <th>F Measure</th> <th>MCC</th> <th>ROC Area</th> <th>PRC Area</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Não</td> <td>0.447</td> <td>0.381</td> <td>0.540</td> <td>0.447</td> <td>0.489</td> <td>0.067</td> <td>0.530</td> <td>0.522</td> </tr> <tr> <td>Sim</td> <td>0.619</td> <td>0.553</td> <td>0.528</td> <td>0.619</td> <td>0.570</td> <td>0.067</td> <td>0.530</td> <td>0.505</td> </tr> <tr> <td>Média</td> <td>0.533</td> <td>0.467</td> <td>0.534</td> <td>0.533</td> <td>0.530</td> <td>0.067</td> <td>0.530</td> <td>0.518</td> </tr> </tbody> </table>	Class	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Não	0.447	0.381	0.540	0.447	0.489	0.067	0.530	0.522	Sim	0.619	0.553	0.528	0.619	0.570	0.067	0.530	0.505	Média	0.533	0.467	0.534	0.533	0.530	0.067	0.530	0.518
Class	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F Measure	MCC	ROC Area	PRC Area																												
Não	0.447	0.381	0.540	0.447	0.489	0.067	0.530	0.522																												
Sim	0.619	0.553	0.528	0.619	0.570	0.067	0.530	0.505																												
Média	0.533	0.467	0.534	0.533	0.530	0.067	0.530	0.518																												
==== Confusion Matrix ==== a b <-> classified as 2520 3118 a = não 2145 3492 b = sim																																				

Os resultados obtidos pela regressão logística apontaram para um aumento na possibilidade de menopausa precoce quando há alto consumo de sal (2,04) em decorrência da substituição de refeições por lanches e pizzas todos os dias da semana (1,64) e ao consumo de leite de vaca em pelo menos 03 dias na semana (1,61) apontando para a relação com doenças cardiovasculares associadas a disfunção endotelial. Este risco é aumentado pela síndrome metabólica, que inclui obesidade, dislipidemia, hipertensão arterial e diabetes (HALLER-KIKKATALO, 2015).

A menopausa é uma experiência individual que está dependente da vulnerabilidade cerebral e corporal às modificações endocrinológicas que ocorrem na meia-idade. Nesta fase da vida da mulher nem todas desenvolvem sintomas e doenças relacionadas com a menopausa, isto deve-se a uma predisposição genética, história pessoal, ao estilo de vida bem como os cuidados de saúde e ambiente socioeconômico na qual a doente está inserida (ANTUNES et al. 2003). O manual da Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia (FEBRASGO) prevê a menopausa precoce – antes dos 40 anos de idade – relacionada a fatores socioeconômicos e culturais, tabagismo, paridade, altitude e nutrição, sendo mulheres que exercem profissões estressantes e com longas jornadas de trabalho as mais atingidas pela menopausa precoce (FEBRASGO, 2010).

Também são apontadas mudanças bioquímicas como alterações no perfil lipídico e deficiência de estrogênio, antropométricas inclui o aumento de gordura corporal, diminuição de massa livre de gordura e também a redução da estatura, resultando o aumento do índice de massa corpórea (ZANESCO e ZAROS, 2009). Enquanto Bae et al. (2018) incluem fatores de risco modificáveis, associados a comportamentos de saúde, obesidade e estresse, que podem se associar ao consumo de cigarro em pelo menos 3 dias na semana (1,59) corroborando com a literatura que associa esse hábito com a menopausa precoce e o desenvolvimento de câncer durante a menopausa.

Os dados encontrados relacionam-se com o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis como diabetes e hipertensão que são apontadas na literatura como relacionadas à menopausa e consequente deflação na qualidade de vida. Quanto aos resultados que apontam o diabetes mellitus como principal fator relacionado à menopausa precoce entre 40-44, em trabalhos mais recentes, como os de Appiah et al. (2015), Tawfik et al. (2015) e Zhu et al. (2013), mostram que a ooforectomia resulta em um aumento de risco de desenvolvimento de diabetes mellitus (DM). Além disso, trabalhos não tão recentes, como os de Mizuno et al. (1993), Rincon et al. (1996) e Siri e Ginsberg (2003), também evidenciam esse aumento de risco. Além de redução da qualidade de vida, do aumento do risco de doença cardiovascular e da perda óssea acelerada, a ooforectomia pode representar importante fator de risco para DM. Estudos Basmatzou e Konstantinos Hatziveis (2016); Codner, Merino e Tena-Sempere (2012) que apontam no que diz respeito às mulheres portadoras do Diabetes Mellitus Tipo 1, os problemas manifestam-se ao nível das trompas de Falópio e útero, distúrbios menstruais, puberdade e menarca tardias e menopausa precoce.

As evidências da literatura apontam para o aumento de risco de diabetes em mulheres ooforectomizadas (SAAVEDRA et al. 2016). A ausência de esteroides sexuais ovarianos consequentes à ooforectomia tem associação com função sexual diminuída, alteração de saúde mental, risco

aumentado de fraturas e de mortalidade por outras causas, como doença coronariana (PARKER et al. 2013; JACOBY, GRADY e SAWAYA, 2009). Ou seja, A preservação dos ovários pode influenciar na saúde das mulheres em longo prazo (SIRI e GINSBERG, 2003).

Corroborando com as afirmações de Saavedra et al., (2016) de que um dos efeitos da menopausa é a osteoporose que segundo os autores, tem como uma das causas endócrinas secundárias o diabetes, acrescido dos achados de Fouad, Fathy e Zidan (2016) que associam a nefropatia diabética ao ácido úrico sérico em pacientes menopáusicas, associando-a com a deflação de estrogênio. O estudo de Gonçalves et al (2015) afirma que o diabetes mellitus está entre as principais causas de morte entre as mulheres na pós-menopausa. A proteção contra eventos coronarianos em mulheres jovens é drasticamente reduzida com a menopausa e a resistência à insulina um importante fator de risco (SWISLOCKI, BURGIE e RODNICK, 2002).

Em suma, é possível concordar com Ferreira (2016) quando afirma que a idade da menopausa depende de vários fatores como a genética individual, fatores ambientais, socioeconômicos, reprodutivos, alimentares e estilo de vida, dos quais alguns, como nuliparidade, dieta vegetariana, tabagismo, ingestão elevada de gordura, colesterol, cafeína e exercícios vigorosos aceleram o início da mesma, estando, deste modo, associados a menopausa precoce, enquanto outros, como a paridade, uso prévio de pílulas anticoncepcionais orais, etnia japonesa, ingestão de frutas e proteínas e consumo moderado de álcool a atrasam.

IV. CONCLUSÕES

O estilo de vida da mulher interfere na manutenção ou não da longevidade na vida reprodutiva da mulher. Assim, dentre tudo que acontece no cotidiano das entrevistadas o item que apresentou maior ganho em relação à menopausa precoce foi a alimentação, onde o alto consumo de sal derivado da troca de refeições por sanduíches, salgados e pizzas; e o consumo de leite, além do uso de frequente de cigarro, tendem a aumentar a incidência de doenças crônicas não transmissíveis que segundo a literatura estão relacionadas à menopausa precoce.

Concomitantes ao aumento na expectativa de vida da população brasileira são necessários estudos que tornem possível maior qualidade nesses anos a mais em que todos acabam passando por deflações em quase todos os sistemas orgânicos. O sistema reprodutor não é diferente, sobretudo nas mulheres, já que o início (menarca) e término (menopausa) dessa fase são extremamente pontuais e ocasionam problemas de ordem física, psicológica, social e emocional nas mesmas. Quanto antes acontece o fim da vida prolífica feminina, antes começam problemas como sarcopenia, osteopenia, depressão, e como o estudo aponta; o diabetes mellitus e a hipertensão.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPIAH, D.; WINTERS, S.J.; ALLISON, M.A.; BAUMGARTNER, R.N.; GROVES, F.D.; MYERS, J.A.; et al. Cardiovascular disease among women with and without diabetes mellitus and bilateral oophorectomy. *Diabetes Res Clin Pract.*;108: 473–81, 2015.

- ASSUMPÇÃO, C. R. L. DE. Falência ovariana precoce. *Arq Bras Endocrinol Metab.*, v. 58, n. 2, p. 132–43, 2014.

- BAE, J.; PARK, S.; KWON, J. Factors associated with menstrual cycle irregularity and menopause. **BMC Women's Health**, v. 18, n. 36, p. 1–11, 2018.
- BASMATZOU, T.; KONSTANTINOS, HATZIVEIS, M.D. Diabetes mellitus and influences on human fertility. **International Journal of Caring Sciences**, 9(1), 371–379, 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Gestação de alto risco:** manual técnico. 5ed. Brasília: Editora do Ministério da Saúde; 2013.
- CODNER, E.; MERINO, P.M.; TENA-SEMPERE, M. Female reproduction and type 1 diabetes: From mechanisms to clinical findings. **Human Reproduction Update**, 18(5), 568–585, 2012.
- CÔRTES, S.D.C.; PORCARO, R.M.; LIFSCHITZ, S. **Mineração de Dados – Funcionalidades, Técnicas e Abordagens.** PUC-Rio Informática, p. 35, 2002.
- FEBRASGO, Federação Brasileira das Associações de Ginecologia e Obstetrícia. **Manual de Orientação em Climatério.** 1. ed. São Paulo. 2010.
- FERREIRA, I.C.C.; SILVA, S.S.; ALMEIDA, R.S. Menopausa, Sinais e Sintomas e seus Aspectos Psicologicos em Mulheres sem Uso de Reposição Hormonal. **Ensaios e Ciência: Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 19, n. 2, p. 60–64, 2015.
- FOUAD, M.; FATHY, H.; ZIDAN, A. Ácido úrico sérico e sua associação com hipertensão, nefropatia precoce e doença renal crônica em pacientes diabéticos tipo 2. **J Bras Nefrol**; 38(4):403–410, 2016.
- GONÇALVES, T.A.P.; RAMOS, C.H.V.; SOARES, L.C.; OLIVEIRA, M.A.P. Ooforectomia e risco de diabetes. **Reprod. clim.**; 30(3):140–147, 2015.
- GREGORY, G.; PRETTO, F. Mineração de dados para descoberta de conhecimento em dados de promoção à saúde. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 8, n. 4, p. 51–65, 2016.
- HALLER-KIKKATALO, K.; UIBO, R.; KURG, A. et al. The prevalence and phenotypic characteristics of spontaneous premature ovarian failure: a general population registry-based study. **Hum Reprod**; 30(5): 1229–1238, 2015.
- JACOBY, V.L.; GRADY, D.; SAWAYA, G.F. Ooforectomy as a risk factor for coronary heart disease. **Am J Obstet Gynecol**; 200, 140 e141–149, 2009.
- LETT, Caio Rogério de Araújo. **Idade à menopausa e associação com disfunção sexual em mulheres climatéricas: estudo populacional domiciliar [DISSERTAÇÃO]** Campinas, SP : [s.n.], 2017.
- LORENZI, D. R. S. DE et al. Fatores indicadores da sintomatologia climatérica. **Rev Bras Ginecol Obstet**, v. 27, n. 1, p. 12–19, 2005.
- MACIEL, T. V. et al. Mineração de dados em triagem de risco de saúde. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 7, n. 2, p. 26–40, 2015.
- MATHERS, C.D. et al. Global patterns of healthy life expectancy in the year 2002. **BMC Public Health**, v. 4, 2004.
- MIZUNO, A.; IWAMI, T.; SANO, T.; SHI, K.; NOMA, Y.; SHIMA, K. Cyclophosphamide-induced diabetes in long-evans tokushima lean rats: Influence of ovariectomy on the development of diabetes. **Metabolism**; 42:865–9, 1993.
- NOGUEIRA, J.S.; et al. Sintomas psicológicos em mulheres climatéricas cardiopatas. **Cogitar Enferm**. (23)2:54075, 2018.
- PARKER, W.H.; FESKANICH, D.; BRODER, M.S.; CHANG, E.; SHOUP, D.; FARQUHAR, C.M. Long-term Mortality Associated with Oophorectomy versus Ovarian Conservation in the Nurses' Health Study. **Obstetrics and gynecology**; 121: 709–16, 2013.
- RINCON, J.; HOLMANG, A.; WAHLSTROM, E.O.; LONNROTH, P.; BJORNTRUP, P.; ZIERATH, J.R.; et al. Mechanisms behind insulin resistance in rat skeletal muscle after oophorectomy and additional testosterone treatment. **Diabetes**; 45:615–21 1996.
- SAAVEDRAA, A.; FREITAS, P.; CARVALHO-BRAGA, D.; CARVALHO, D. Osteoporose em 12 questões. **Rev Port Endocrinol Diabetes Metab**. 2016.
- SANTOS, C. B. DOS et al. Aquisição de Conhecimento Implícito de Indicadores de Qualidade de Vida. **Revista Brasileira de Qualidade de Vida**, v. 1, n. 1, p. 33–57, 2009.
- SIRI, P.W.; GINSBERG, H.N. Ovariectomy leads to increased insulin resistance in human apolipoprotein b transgenic mice lacking brown adipose tissue. **Metabolism**; 52:659–61, 2003.
- SWISLOCKI, A.; BURGIE, E.S.; RODNICK, K.J. Effects of ovariectomy on indices of insulin resistance, hypertension, and cardiac energy metabolism in middle-aged spontaneously hypertensive rats (shr). **Horm Metab Res**; 34: 516–22, 2002.
- SZWARCWALD, C. L.; et al. National Health Survey in Brazil: design and methodology of application. **Cienc Saude Coletiva**. v.19 n.2 p.333-42, 2014.
- TAWFIK, S.H.; MAHMOUD, B.F.; SAAD, M.I.; SHEHATA, M.; KAMEL, M.A.; HELMY, M.H. Similar and additive effects of ovariectomy and diabetes on insulin resistance and lipid metabolism. **Biochem Res Int**; 2015.
- ZANESCO, A.; ZAROS, P.R. Exercício físico e menopausa. **Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia**, v. 31, n. 5, p. 1–8, 2009.
- ZHU, L.; BROWN, W.C.; CAI, Q.; CHAMBON, P.; MCGUINNESS, O.P.; et al. Estrogen treatment after ovariectomy protects against fatty liver and may improve pathway-selective insulin resistance. **Diabetes**; 62:424–34, 2013.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.