

ENGENHARIA NO SÉCULO XXI

VOLUME 15



Editora Poisson

Editora Poisson

Engenharia no Século XXI Volume 15

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2020

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

Msc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas

Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

**Engenharia no Século XXI - Volume 15/
Organização Editora Poisson - Belo
Horizonte - MG: Poisson, 2020**

Formato: PDF

ISBN: 978-65-86127-18-8

DOI: 10.36229/ 978-65-86127-18-8

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação.I. Título.

CDD-620

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Erros e obstáculos no processo de aprendizagem de aplicações de derivadas parciais sob o olhar do estudante de Engenharia Civil do IFBA/Eunápolis..... 07

Celso Eduardo Brito, Eric Oliveira Santos

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.01

Capítulo 2: Análise Léxica de conteúdos sobre resíduos industriais galvânicos..... 16

Sheilla da Silva Melo Figueirêdo, Cícera Camila Alves Macedo, Jair Paulino de Sales, Paulo Renato Alves Firmino, Francisco Jose de Paula Filho

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.02

Capítulo 3: Diagnóstico e caracterização de resíduos de madeiras obtidos em madeiras da cidade de Manaus 23

Asthon César Nunes de Oliveira Filho, Jéssica de Souza Fortes, Valdete Santos de Araújo, Carla Souza Calheiros, Raimundo Pereira de Vasconcelos

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.03

Capítulo 4: Estudo sobre usina de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição no Estado da Paraíba 28

Ana Letícia Nóbrega Rabello Tavares, Cinthia Maria de Abreu Claudino, Maria Ingridy Lacerda Diniz, Thiago da Sá Sena

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.04

Capítulo 5: Indústria 4.0: Aplicação experimental em motor de indução monofásico 34

José William Ribeiro Borges, Antonio Roniel Marques de Sousa, Elen Priscila de Souza Lobato, Jefferson Alan da Silva Lima, Wellington da Silva Fonseca

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.05

Capítulo 6: Confeção e análise de blocos de argamassa translúcida 40

Fernanda dos Santos Gentil, Claudia Claumann da Silva

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.06

Capítulo 7: Produção de partículas submicrométricas de PMMA por atomização de solução polimérica em meio líquido circulante (Nanoprecipitação Modificada) 45

André Anderson Costa Pereira, Anderson Alles de Jesus, Ênio Rafael de Medeiros Santos, Elisa Maria Bittencourt Dutra de Sousa, Jackson Araujo de Oliveira, Thelma Sley Pacheco Cellet, Vanessa Hafemann Fragal, Vitor Fernandes Dias Lopes

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Diagnóstico do sistema de macrodrenagem do Município de Gurupi – TO: O estado de conservação dos seus corpos hídricos..... 51

Pedro Felipe Alves de Oliveira, Ana Flávia Rocha Monteiro, Alesi Teixeira Mendes

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.08

Capítulo 9: Estudo da conformidade dos parâmetros adotados na escolha do tipo de fundação das obras de Uruaçu - GO 61

Poliana Braz de Oliveira, Jéssica Azevedo Coelho

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.09

Capítulo 10: Avaliação da caminhabilidade no entorno de escolas: Estudo de caso na Região Metropolitana de Ribeirão Preto – SP 78

Thays Ribeiro Fávaro Miessa Rodrigues, Luiz Henrique Souza da Rocha, Marcelo Augusto Amancio, Fernando Brant da Silva Carvalho

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.10

Capítulo 11: Estudo da imobilização da enzima tirosinase em carvão ativado granular para futura utilização na remoção de fenol de efluentes..... 86

Ana Carina Cruz de Mello, Andréa Medeiros Salgado, Fabiana Valéria da Fonseca

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.11

Capítulo 12: Abordagem sistêmica e comparativa de fluidos térmicos orgânicos de base parafínica e parafínica hidrogenada..... 90

Maurino Gomes Costa, Catia Fredericci

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.12

Capítulo 13: Análise da influência do combustível na obtenção de HAp via reação de combustão..... 107

Thaíla Gomes Moreira, Thalita Lorene dos Santos, Amanda Melissa Damião Leite, Kaline Melo de Souto Viana

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.13

Capítulo 14: Influência do líquido de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.) no fenômeno da precipitação de parafina em petróleo pesado 113

Carlos Wagner Lobo Siqueira, Denes Carlos Santos da Graça, Rosiane dos Santos, Tarcisio Soares Siqueira Dantas, Gisélia Cardoso

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.14

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| Capítulo 15: Índice de PMV e PPD para análise de conforto térmico de residência no Semiárido Paraibano | 119 |
|---|-----|

Paula Isabella de Oliveira Rocha, Vicente de Paula Teixeira Rocha, Vera Solange de Oliveira Farias, Emmanuel Eduardo Vitorino de Farias

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.15

| | |
|--|-----|
| Capítulo 16: Aquecedor solar em casas populares: Economia ou desperdício de água? | 125 |
|--|-----|

Gizele Poltronieri do Nascimento, Paulo Henrique Fernandes Zanandrea, Afonso Celso de Souza Oliveira

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.16

| | |
|---|-----|
| Capítulo 17: Sistema fotovoltaico no aeroporto internacional de Manaus: Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação usando simulação computacional..... | 130 |
|---|-----|

Carlos Gomes Fontinelle, Jandecy Cabral Leite, Carlos Magno Cassio de Assis

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.17

| | |
|--|-----|
| Capítulo 18: Validação de dados de onda de reanálise do Era-Interim para estimativa do potencial energético das ondas | 143 |
|--|-----|

Rafael Luz Espindola, Alex Maurício Araújo

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.18

| | |
|--|-----|
| Capítulo 19: Análise do desempenho térmico e elétrico de um módulo fotovoltaico acoplado a um coletor solar plano | 154 |
|--|-----|

Othon Lucas Procópio, André Guimarães Ferreira, Ivan Magela Corgozinho, Lucas Paglioni Pataro Faria, Elizabeth Marques Duarte Pereira, Rafael Máximo Martins, Rodrigo Andrade da Silveira, Luís Guilherme Monteiro Oliveira, Santiagu Lucas Procópio, Alessandra Chagas Daniel

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.19

| | |
|---|-----|
| Capítulo 20: Ensino técnico em sistemas de energias renováveis no Semiárido Brasileiro | 164 |
|---|-----|

Manuel Rangel Borges Neto, Ricardo Maia Costa, Francisco Jonatas Siqueira Coelho, Poliana Silva, Luiz Carlos Nascimento Lopes

DOI: 10.36229/978-65-86127-18-8.CAP.20

| | |
|-----------------------|-----|
| Autores: | 171 |
|-----------------------|-----|

Capítulo 1

Erros e obstáculos no processo de aprendizagem de aplicações de derivadas parciais sob o olhar do estudante de Engenharia Civil do IFBA/Eunápolis

Celso Eduardo Brito

Eric Oliveira Santos

Resumo: Nessa pesquisa, expomos uma abordagem metodológica da análise de erros, como proposta de ensino e de aprendizagem de conteúdos relativos ao Cálculo Diferencial e Integral. O objetivo principal é investigar e analisar os erros e obstáculos sob o olhar discente, em um grupo de estudantes do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Eunápolis, no semestre letivo de 2017.1, em relação a sua aprendizagem dos objetos matemáticos referentes às aplicações de derivadas parciais. Utilizando uma abordagem quanti-qualitativa construtivista, com base nas análises das produções escritas dos discentes, a partir de uma categorização de erros preestabelecida pelo docente, foi possível verificar as dificuldades que os discentes encontravam relativas aos erros e obstáculos, no que diz respeito aos objetos matemáticos investigados. Abordamos por fim, nas conclusões, os resultados positivos que esta metodologia proporciona ao estudante, através de alguns depoimentos dos discentes e verificações do docente.

Palavras-chave: Análise de Erros e Obstáculos. Aplicações de Derivadas Parciais. Engenharia Civil.

1. INTRODUÇÃO

Nos estudos do Cálculo Diferencial e Integral, em cursos superiores, é comum acontecerem os “erros” e esses muitas vezes são tratados apenas como inconsistências nas resoluções dos problemas matemáticos. No que diz respeito à metodologia tradicional aplicada nesses cursos, o erro é encarado como algo a ser eliminado, pois sua recorrência é indicada como falta de prática. “Trata-se aqui de um processo de “evitação” desencadeada pelo professor, que não busca corrigir a raiz do erro, mas sim mostrar ao aluno a maneira certa” (ALMOULOU, 2007, p. 130).

Diante disto, a análise de erros e obstáculos surge como uma tendência em Educação Matemática que analisa as produções dos estudantes, onde o erro deixa de ser visto como algo negativo, mas torna-se um construtor do conhecimento, como afirma Cury:

“A análise das respostas, além de ser uma metodologia de pesquisa, pode ser, também enfocada como metodologia de ensino, se for empregada em sala de aula, como “trampolim para a aprendizagem” (Borasi, 1985), partindo dos erros detectados e levando os alunos a questionar suas repostas, para construir o próprio conhecimento” (CURY, 2007, p. 13).

Portanto, este trabalho nos trás uma abordagem quanti-qualitativa, das análises de erros, empregada como metodologia de ensino e de aprendizagem, e construídas sob o olhar discente dos estudantes do curso de Engenharia Civil, em relação às avaliações escritas feitas durante uma disciplina de Cálculo Diferencial II, ministrada nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, no campus da cidade de Eunápolis. Especificamente iremos expor os resultados das pesquisas em relação aos objetos matemáticos aplicações de derivadas parciais, relativas à resolução de problemas, com diferenciabilidade, taxas relacionadas e otimização (máximos e mínimos).

2. A PROPOSTA PARA ANÁLISE DE ERROS E OBSTÁCULOS

A pesquisa foi realizada numa turma de Cálculo Diferencial e Integral II, do IFBA, campus Eunápolis, do curso de Licenciatura em Matemática, que continha 15 (quinze) estudantes do curso de Engenharia Civil, no semestre letivo de 2017.1. A proposta abarcava o trabalho contínuo de fazer autoanálises de erros, referentes a avaliações escritas aplicadas durante a disciplina, quase sempre de forma semanal, em todo o semestre letivo.

Sempre após as aplicações das avaliações, que eram divididas em parciais, num total de 12 (doze) e 3 (três) finais, no semestre, eram disponibilizadas em grupo de uma determinada rede social na internet, com consentimento dos estudantes, as resoluções completas desses instrumentos avaliativos, sem correção do professor, para que estes pudessem analisar seus erros e obstáculos, bem como avaliar o instrumento aplicado, quanto ao tempo e adequação do que é ensinado pelo docente no processo, além do seu avanço relativo a resultados anteriores. Deveria ser entregue ao professor sempre na aula posterior à aplicação da atividade avaliativa, de forma manuscrita em documento padrão e com a cópia das resoluções das questões desenvolvidas. Essas análises assim como as avaliações parciais e finais, valiam pontuação regular nas notas da disciplina, e a correção dessas avaliações só ocorria após o discente fazer a entrega da mesma para o docente, o qual podia ter um olhar mais minucioso ao efetuar essa tarefa.

Essa análise feita pelos estudantes baseava-se numa categorização de erros prévia, estabelecida pelo docente da disciplina que já havia trabalhado de forma análoga, no semestre anterior, com seus discentes. A categorização, com simbologias que deveriam ser desenhadas em cópias de suas resoluções, era dividida em: Erros de Conhecimentos Prévios (☺), tratando-se de erros relativos a conhecimentos anteriores aos abordados no conteúdo, referentes a conceitos necessários para o desenvolvimento da questão, que foram visto desde a educação básica até o crédito anterior à aplicação da atividade; Erros de Conhecimentos Atuais (☹), tratando-se de erros relacionados a não apropriação do conteúdo matemático, estudado atualmente, necessário para resolução dos problemas matemáticos da atividade; Erros de Atenção (☹), relacionados a esquecimentos de sinais, contas simples, manipulações algébricas, de instrumentos tecnológicos, leituras equivocadas de enunciados, etc; e Outros Erros (☹), que são erros ligados aos distúrbios que podem acontecer durante a avaliação, como desconfortos, falta de tempo, barulhos, etc.

De posse desse material e com a devida autorização do Conselho Interno de Ética em Pesquisa da instituição, e também dos termos de consentimento livres e esclarecidos assinados pelos estudantes, foram levantados dados de forma quanti-qualitativa acerca desses erros e obstáculos descritos pelos discentes em comparação com a visão docente. Porém, aqui nessa abordagem faremos as explicitações apenas relativas aos objetos matemáticos aplicações de derivadas parciais, especificamente referente a problemas de diferenciabilidade, taxas relacionadas e otimização (máximos e mínimos), estudados e aplicados na parcial 4 e na final 1, no semestre letivo em questão.

3. O OLHAR DISCENTE DOS ERROS E OBSTÁCULOS NAS APLICAÇÕES DE DERIVADAS PARCIAIS

Dos 15 estudantes de Engenharia Civil, envolvidos efetivamente no trabalho das análises, 40% eram do sexo feminino, enquanto 60% do masculino. Além disso, 6 (seis) estavam repetindo a disciplina a primeira vez, e 5 (cinco) eram bi repetentes, restando apenas 4 (quatro) novos alunos, sendo desses 3 (três) advindos de outra instituição de ensino, onde estudaram o Cálculo Diferencial e Integral I.

A seguir teremos uma visão mais detalhada acerca das análises de erros e obstáculos desses discentes no contexto das aplicações das derivadas parciais, com especificidade nos problemas de diferenciabilidade, taxas relacionadas e otimização (máximos e mínimos). Verificamos as particularidades encontradas nos discursos desses estudantes, no que diz respeito a seu desempenho e desenvoltura durante o processo de aplicação das avaliações que englobaram esses conteúdos matemáticos, no semestre letivo de 2017.1. Faremos a explicitação inicialmente dos obstáculos psicológico, ontogenético e didático, explicitados pelos discentes de forma geral e posteriormente detalharemos, por questão das avaliações parcial 4 e final 1, os erros ligados aos obstáculos epistemológicos e didáticos dos objetos matemáticos.

3.1. OBSTÁCULOS PSICOLÓGICOS, ONTOGENÉTICOS E DIDÁTICOS NAS AVALIAÇÕES

Ao fazer as suas análises de erros, os discentes inicialmente explicitavam a sua opinião acerca do instrumento avaliativo aplicado e citavam, caso se sentissem a vontade, sobre fatores internos e externos que poderiam influencia-los nesse momento avaliativo, trazendo a tona principalmente os obstáculos psicológicos e ontogenéticos, além dos didáticos inerentes a sua trajetória como estudante. Quanto a esses obstáculos:

Os obstáculos psicológicos reagem de acordo com a evolução individual de cada um e os obstáculos ontogenéticos são caracterizados pelas limitações neurofisiológicas (dentre outras) que o sujeito adquire durante o seu desenvolvimento.

Todo professor, em seu planejamento didático, escolhe uma metodologia que ele acredita ser a mais adequada e eficaz para a turma que estiver trabalhando. No entanto, uma metodologia pode atingir cada aluno de maneira distinta e inesperada. Com isso, o método proposto torna-se um obstáculo didático para aqueles alunos que não se adequaram a ele. (BRITO, NUNES, 2017, p. 280)

Relativo aos obstáculos enfrentados por esses discentes, durante as avaliações, alguns explicitavam em suas escritas às dificuldades no que diz respeito à interpretação de situações problemas, o que predominava em relação aos objetos matemáticos analisados. Isso ilustra uma ligação direta com os obstáculos didáticos, pois durante a trajetória de boa parte dos alunos no ensino básico, é muito comum o não convívio com situações mais contextualizadas, em detrimento as do tipo exercícios de aplicação. O estudante A, em sua análise, relata sobre o seu desempenho e enfatiza, conforme figura 1, as dificuldades com a interpretação de questões desse tipo.

Figura 1 – Obstáculos do Estudante A, na Avaliação Parcial 4.

Ué, após a realização desta avaliação, que tenho problemas com a interpretação de problemas e na realização de funções. Parece que eu sei o conceito de diferenciação, o problema sempre é a interpretação. Então, pe

Fonte: Análise de Erros do Estudante A

O discente B (figura 2), trás questões ligadas aos obstáculos psicológicos e ontogenéticos, no que se refere ao seu tempo de disponibilização de estudos e o nervosismo por fazer a sua primeira avaliação com maior peso, pois se tratava da avaliação final 1, na nova instituição de ensino. Com isso, o docente pode perceber que um momento pontual, como é aplicação de uma prova escrita, tem também consequências que muitas vezes não podem ser controladas pelo discente e que influenciam diretamente no desempenho quantitativo deste.

Figura 2 – Obstáculos do Estudante B, na Avaliação Final 1.

A prova final veio coincidentemente no pior momento em relação a tempo de estudos, ter feito prova no sábado anterior e ter prova na quarta, poderia atrapalhar a minha programação de estudos. No dia parti curricularmente fiquei nervoso, o que não é muito normal, geralmente fico tranquilo, mas minha primeira prova de crédito em Colêgio aqui no IF me influenciaram negativamente. A começar pela letra

Fonte: Análise de Erros do Estudante B

Além de observações explícitas a respeito dos seus obstáculos, durante as avaliações, o estudante tinha a oportunidade de expor a seu ponto de vista sobre o instrumento avaliativo aplicado, seja em relação ao tempo de aplicação, a associação com o que é abordado em sala, no processo de ensino, dentre outros pontos pertinentes, e que configura como um ponto de feedback para o docente acerca do seu trabalho com aquela determinada turma, como podemos observar na figura 3. Esse olhar discente nos permite como docente pesquisador, refletir sobre a nossa própria prática pedagógica, buscando as possibilidades de inferir sobre as questões inerentes ao processo de ensino e de aprendizagem, pois numa perspectiva de colaboração, a pesquisa com narrativas de formação do indivíduo revela aprendizagens e teorizações sobre a sua prática, favorecendo tanto o pesquisador quanto os pesquisados (SOUZA, 2007).

Figura 3 – Ponto de vista Estudante C sobre a Avaliação Parcial 4.

Esta avaliação parcial estava tranquila, bem elaborada em relação ao tempo e dificuldade, e cada questão a dificuldade ia aumentando gradativamente, mas, nada impossível de fazer no tempo determinado de 50 minutos. Fiz a prova tranquilamente, com calma, e muito menos nervoso que o anterior, isso me rendeu bons resultados.

Fonte: Análise de Erros do Estudante C

A seguir, levaremos em consideração os obstáculos epistemológicos, bem como os obstáculos didáticos, relativos aos objetos matemáticos abordados nas avaliações escritas, parcial 4 e final 1. “Os obstáculos epistemológicos são identificados no processo de desenvolvimento histórico dos conhecimentos” (BRITO, NUNES, 2017).

3.2. AVALIAÇÃO PARCIAL 4

A avaliação parcial 4, com duração disponibilizada máxima de 50 minutos para sua resolução pelo discente, foi composta de 3 (três) questões, sobre diferenciabilidade, taxas relacionadas e maximização, nessa ordem, cujas os enunciados podem ser observados na quadro 1 que segue.

Quadro 1 – Questões da Avaliação Parcial 4

- 1) Uma companhia foi contratada para fabricar 10.000 caixotes, fechadas, tendo dimensões de 3 m, 4 m e 5 m. O custo da madeira a ser usada é de R\$ 3,00 por metro quadrado. Se a máquina usada para cortar os pedaços de madeira tiver um erro de 0,5 cm em cada dimensão, ache aproximadamente, o erro possível no custo estimado da madeira, em reais.
- 2) A altura de um cilindro circular está decrescendo a uma taxa de 10 cm/min e o raio crescendo a taxa de 4 cm/min. Sendo a taxa crescente $x\pi$ cm³/min de variação do volume, no instante em que a altura é de 50 cm e o raio é de 16 cm, determine o valor de x .
- 3) Ache três números estritamente positivos cuja soma é 24, de modo que o produto deles seja o maior possível. Determine a média aritmética entre esses números.

Fonte: Próprio autor

A questão 1, que abordava a especificidade das aplicações de derivadas parciais, referente a diferenciabilidade, foi a que causou maior dificuldade na avaliação para os estudantes em relação a interpretação, e a que mais gerou erros de atenção. De todos os erros explicitados pelos discentes em suas análises, para essa questão, 18,2% foram relativos a conhecimentos prévios, 27,3% assinalados como de conhecimentos atuais e 54,5% para erros de atenção.

Os erros de conhecimentos prévios, em sua maioria, se deram pela formulação da situação algébrica que fornecia a função custo total para o valor da madeira usada na confecção das caixas. Já os erros de conhecimentos atuais eram expressamente ligados, a notação de diferencial com derivadas parciais, enquanto os erros de atenção foram os referentes à leitura equivocada do enunciado, não observando os erros nas dimensões das caixas e a unidade de medida, que necessitava ser adaptada para metros ou centímetros. O estudante D assinala em sua análise sobre essa última situação relativa à sua atenção na leitura do enunciado e também da sua inicial dificuldade de compreensão do mesmo, conforme figura 4.

Figura 4 – Análise do Estudante D sobre a questão 1 da Avaliação Parcial 4.

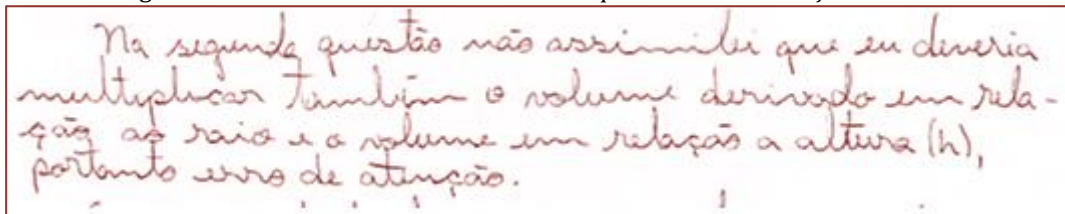
Na primeira questão tive dois problemas, primeiro de linguagem materna porque tive dúvidas durante a interpretação da questão e ainda tive erro de atenção por não ter transformado de centímetros para metro para deixar em uma notação padrão. Por conta disso tive erro numérico, foi na questão dois, por entendimento do assunto

Fonte: Análise de Erros do Estudante D

Na abordagem da avaliação que especificamente cobrava conhecimentos relativos a taxas relacionadas, os estudantes classificaram 10% dos seus erros como prévios, principalmente no que diz respeito à fórmula de volume do sólido considerado, 40% erros atuais, ao se deparar com notações equivocadas ou mesmo não sabendo a notação para utilização da regra da cadeia. Os erros de atenção resultaram em 40%, por situações tais, como não considerar sinal para decrescimento da taxa, ou por leitura do enunciado não determinando o que era solicitado ao final da resolução e 10% como outros erros, por situações de tempo para resolver tal problema, por exemplo. Porém, essa foi a questão do instrumento avaliativo que mais foi acertada na totalidade pelos discentes, com 4 (quatro) dos 15 (quinze) estudantes obtendo êxito.

O estudante E, em sua análise (Figura 5), assinala que teve problemas ao desenvolver a taxa relacionada, por manipulações algébricas incorretas, mas não conseguiu perceber que a sua dificuldade esta ligada aos conhecimentos atuais e prévios de derivação.

Figura 5 – Análise do Estudante E sobre a questão 2 da Avaliação Parcial 4.

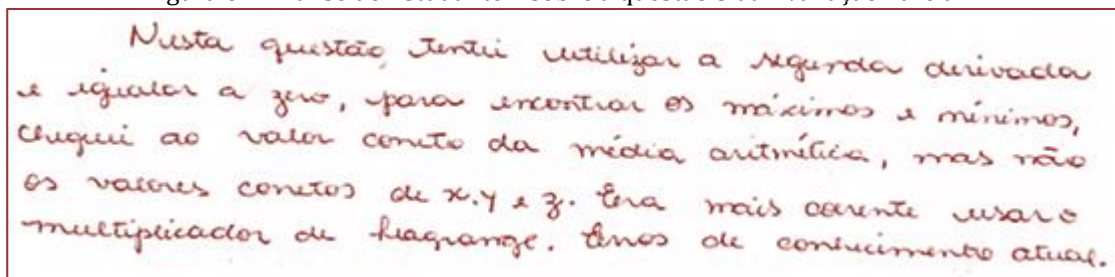


Na segunda questão não assimilei que eu deveria multiplicar também o volume derivado em relação ao raio e o volume em relação a altura (h), portanto erro de atenção.

Fonte: Análise de Erros do Estudante E

Por fim, para essa avaliação parcial 4, quanto a terceira questão, que particularmente refere-se a problemas de otimização (máximos e mínimos condicionados), os discentes identificaram 25% de conhecimentos prévios, principalmente na resolução de sistemas de equações, durante o desenvolvimento de suas respostas e 50% conhecimentos atuais, por não conseguir utilizar nenhum dos métodos vistos para resolver o problema, e por vezes utilizavam atribuições de valores para encontrar os números solicitados, o que para esse caso particular se mostrava tranquilamente possível, mas fugia ao contrato didático estabelecido durante as aulas. “Guy Brousseau (1980) define o contrato didático como o conjunto de comportamentos específicos do professor esperado pelos alunos, e o conjunto de comportamentos dos alunos esperado pelo professor” (ALMOULOUD, 2007, p. 89). O estudante F alega que ao fazer sua manipulação algébrica utilizou erroneamente a segunda derivada, o que não era necessário para a resolução, como podemos observar em seu depoimento na figura 6.

Figura 6 – Análise do Estudante F sobre a questão 3 da Avaliação Parcial 4.



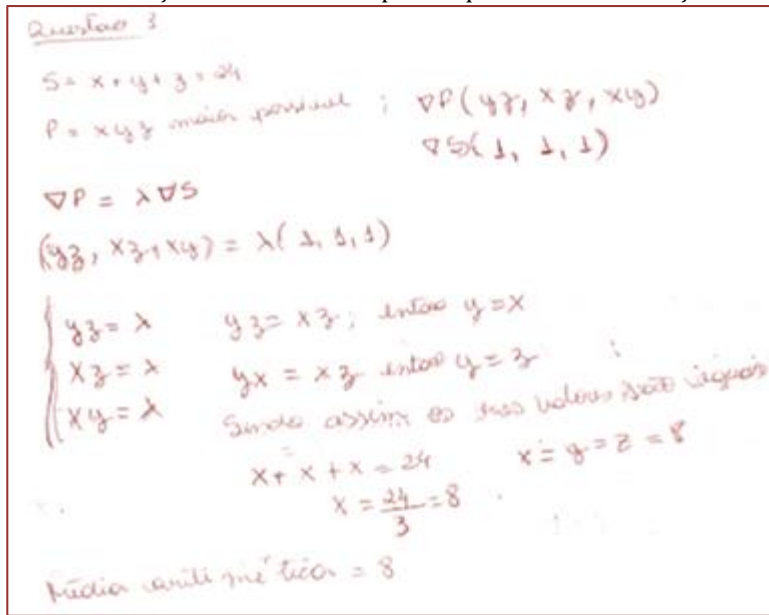
Nesta questão, tentei utilizar a segunda derivada e igualar a zero, para encontrar os máximos e mínimos, cheguei ao valor correto da média aritmética, mas não os valores corretos de x , y e z . Era mais coerente usar o multiplicador de Lagrange. Erros de conhecimento atual.

Fonte: Análise de Erros do Estudante F

Os erros de atenção na visão dos estudantes totalizaram 19%, por questões ligadas a esquecimento de sinais no procedimento algébrico basicamente, e outros erros apenas um assinalado por um discente, referindo-se novamente a falta de tempo para concluir a questão.

O estudante G, corretamente encontrou o resultado solicitado nesse item, e o fez de forma distinta do explicitado pelo docente, que utilizou a transformação da função de três variáveis a ser maximizada, para apenas duas e trabalhou com anulação das derivadas parciais dessa nova função. Ao discorrer em sua análise, teve plena consciência que também estava correto e o fez por meio do processo dos Multiplicadores de Lagrange, teorema ligado ao objeto matemático abordado na questão, conforme figura 7, que ilustra sua resolução completa.

Figura 7 – Resolução do Estudante G para a questão 3 da Avaliação Parcial 4.



Fonte: Resoluções da Parcial 4 do Estudante G

3.3. AVALIAÇÃO FINAL 1

Em se tratando da avaliação final 1, que englobava todos os conteúdos do crédito, distribuídos em quatro questões, e tinha um tempo máximo de resolução de 100 minutos, contemplando assuntos voltados as funções de varias variáveis, particularmente observamos a questão 4, que tratava-se do objeto matemático de otimização, quanto a maximização. Nela novamente a utilização era opcional para um dos dois métodos trabalhados em sala. No quadro 2, trazemos o enunciado dessa questão proposta na avaliação.

Quadro 2 – Questão 4 da Avaliação Final 1

Uma sonda espacial no formato de um elipsoide $4x^2 + y^2 + 4z^2 = 16$ penetra na atmosfera da Terra e sua superfície começa a aquecer. Depois de 1 h, a temperatura no ponto (x, y, z) sobre a superfície da sonda é:

$$T(x, y, z) = 8x^2 + 4yz - 16z + 600$$

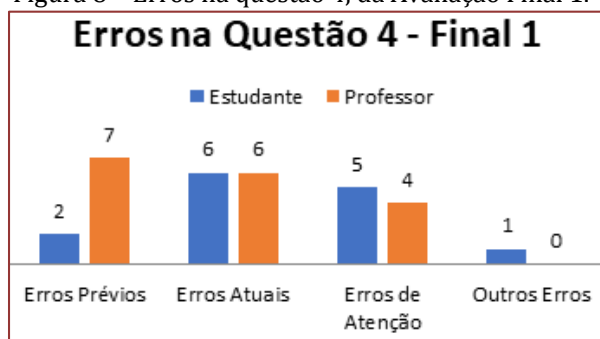
Encontre o ponto mais quente sobre a superfície da sonda.

Fonte: Próprio autor

Os erros observados pelos estudantes a nessa questão, em suas análises e também pelo docente estão assinalados na figura 8.

Erros prévios foram identificados por apenas dois dos estudantes, porém na visão do docente, estes totalizam 7 (sete), e estão ligados as resoluções dos sistemas de equações, que eram necessários para encontrar as soluções desejadas no problema. A diferença entre essas quantidades se dá pelo fato de o discente conseguir identificar seu erro e a localização dele, mas em algumas situações não liga-os a conhecimentos prévios, pois o uso dos sistemas faz parte necessária para esses tipos de aplicações, com anulação das derivadas parciais de funções modificadas para menos variáveis, através de manipulações ou com os Multiplicadores de Lagrange.

Figura 8 – Erros na questão 4, da Avaliação Final 1.



Fonte: Próprio Autor

Já os erros atuais, tanto para os discentes, quanto para o docente totalizam 6 (seis), indicando em sua maioria a não apropriação do método correto para encontrar os valores máximos. Porém como dito anteriormente, ocorreu aí a confusão para alguns discentes ao classificar dificuldades com resoluções de sistemas de equações simples, como erro atual.

Os erros de atenção que são sempre muito indicados pelos estudantes em suas análises, aparece num quantitativo de 5 (cinco), enquanto na visão docente, mesmo subjetivamente, são ditos 4 (quatro). Estes são provenientes em grande parte de manipulações algébricas com sinais de operações equivocados. Os outros erros foram indicados apenas pelo estudante H, associando a situação de tempo de prova, que o impediu de resolver a questão, conforme é destacado na figura 9.

Figura 9 – Análise do Estudante H sobre a questão 4 da Avaliação Final 1.

Na 4 questão por falta de tempo e já com a cabeça fervendo, não pensei em qual método utilizaria, então só comecei derivando, mas não sabia o que mais fazer e desisti de terminar a questão.

Fonte: Análise de Erros do Estudante H

Observamos também na descrição do estudante H acima, que é assinalada uma situação relativa aos obstáculos ontogênicos e psicológicos, durante a tentativa de lidar com tal questão pelo discente.

3.4. A VISÃO DISCENTE SOBRE O PROCESSO DA AUTOANÁLISE DE ERROS

Além das observações e verificações dos erros dos discentes nas autoanálises, mediante levantamento de informações referentes a essa prática metodológica nas aulas de Cálculo Diferencial e Integral, pudemos perceber através de relatos dos discentes envolvidos, o quanto esse processo foi proveitoso e motivador, pois para os estudantes D e M:

Foi muito interessante participar desse projeto em cálculo 2, pois analisar os erros ajuda a compreender como eles são cometidos. E a partir disso render mais nos estudos. A análise de erros proporcionou uma nova experiência em avaliações, visto que pude perceber um padrão em meus erros e corrigi-los, obtendo um resultado melhor até o fim do semestre além de que posso aproveitar essa nova ferramenta para utilizar no decorrer do curso. (Estudante D, 2017)

Eu consegui aprender com elas. Uma dificuldade muito comum para mim era se adaptar com dúvidas que nem sabia que tinha! E durante esse processo eu acompanhei de forma investigativa os meus erros eu consegui me preparar

melhor para avaliação final. Ainda colho frutos disso em outras disciplinas.
(Estudante M, 2017)

Logo essa prática foi algo realmente importante e enriquecedor para os estudantes, em seus processos de aprendizagens, não só na disciplina aplicada, mas em outros momentos de suas trajetórias acadêmicas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto podemos concluir que o processo de conhecer melhor o estudante, através dos seus erros e obstáculos, mesmo dos cursos superiores é de importância tamanha para o docente que quer contribuir para um processo de ensino e de aprendizagem mais consistente. A visão do estudante mediante sua autoanálise do processo de aprendizagem, de forma contínua trás bons resultados e prospecções futuras tanto para o docente quanto e principalmente para o discente. Afinal, "(...) um erro corrigido (por ele mesmo) pode ser mais fecundo do que um acerto imediato, porque a comparação de uma hipótese falsa e suas consequências fornece novos conhecimentos e a comparação entre dois erros dá novas ideias (PIAGET apud CURY, 1995, p. 43)".

Portanto, a continuação desse trabalho proporcionará cada vez mais motivação para o discente, que pode se sentir valorizado e estimulado a se autoquestionar, criando uma consciência mais investigativa da sua prática como estudante, além do contínuo refazer docente que este processo trás para vida acadêmica dos profissionais de educação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA, pela colaboração tanto em relação à disponibilização do espaço de trabalho, para a pesquisa com os discentes, nas turmas dos cursos superiores, quanto financeira, contribuindo e possibilitando a apresentação desse trabalho no meio científico.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMOULOU, S. A. Fundamentos da didática da matemática. Curitiba: Ed. UFPR, 2007.
- [2] BRITO, C. E.; NUNES, T. R. Erros e Obstáculos no Processo de Aprendizagem de Derivadas: Uma Análise na Perspectiva Docente/Discente. *Educação Matemática em Revista*, Brasília, v. 22, n. 56, p. 277-288, out./dez. 2017.
- [3] CURY, H. N. Análise de Erros: o que podemos aprender com as respostas dos alunos. Belo Horizonte: Autêntica, 2007.
- [4] CURY, H. N. Retrospectiva Histórica e Perspectivas Atuais na Análise de Erros na Educação Matemática. *Zetetiké*. Campinas, n. 4, p. 39-50, Nov. 1995.
- [5] SOUZA, E. C. Histórias de vida e formação de professores. Coleção: Salto para o Futuro. Secretaria da Educação à Distância. Ministério da Educação. Boletim 01. Março de 2007

Capítulo 2

Análise Léxica de conteúdos sobre resíduos industriais galvânicos

Sheilla da Silva Melo Figueirêdo

Cícera Camila Alves Macedo

Jair Paulino de Sales

Paulo Renato Alves Firmino

Francisco José de Paula Filho

Resumo: Este trabalho objetivou realizar uma análise léxica e de conteúdo sobre publicações relacionadas a resíduos industriais galvânicos. Fez-se uma pesquisa utilizando o termo descritor “resíduo galvânico”, como também na sua forma em inglês “galvanic waste”, nas bases da CAPES e do Google Acadêmico, na busca de teses, dissertações, artigos científicos nacionais e internacionais. A pesquisa bibliográfica resultou em 57 trabalhos relacionadas com o termo descritor. Para realizar análise adotou-se o software Iramuteq. Os resultados apontaram três classes com os temas mais frequentes: o primeiro é composto por pesquisas que tratam da correlação entre Gestão Ambiental e lodo galvânico; o segundo envolve pesquisas que tratam da recuperação dos metais existentes no lodo galvânico; o terceiro aborda o potencial risco ao meio ambiente que o lodo galvânico representa; e por último foram encontradas pesquisas sobre as técnicas de neutralização e reuso do material residual em práticas agrícolas como também da incorporação dos metais recuperados na fabricação de outros materiais, como exemplo, o cimento.

palavras-chave: Resíduos Galvânicos. Análise Léxica. Desenvolvimento Sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A galvanoplastia compreende um processo produtivo, utilizado por indústrias do ramo metalmeccânica, que consiste em depositar camadas metálicas sobre um objeto através da aplicação dos princípios fundamentais que reagem ao fenômeno da eletrólise, como reações de oxidação e redução (INEA, 2014). O processo de eletrodeposição acontece para que metais não nobres sejam revestidos por outros mais nobres, geralmente para proteger contra a corrosão ou para fins estético decorativos.

No processo galvânico, a água está presente durante todas as etapas produtivas, sendo utilizada como meio para reação eletrolítica e nos enxágues das peças. Estes banhos apresentam como subprodutos efluentes líquidos ricos em metais resultado do uso de desengraxantes, decapantes e dos diversos banhos concentrados de eletrodeposição. Como resultado são gerados periodicamente efluentes, que se lançados no meio ambiente sem o devido tratamento, podem provocar a contaminação do solo, dos recursos hídricos e da biota local (DE PAULA FILHO et al., 2015). Daí depreende-se que em regiões cujos recursos hídricos são limitados, como o semiárido do Nordeste do Brasil, máxima atenção deve ser orientada no sentido de mitigar os impactos desta atividade econômica (ANA, 2012).

A insolubilização e posterior precipitação dos metais são a técnica de tratamento para remoção dos metais mais utilizada pela indústria galvânica nacional. O tratamento contempla, a neutralização da acidez ou alcalinidade livre, até a remoção dos metais na forma insolúvel, com geração de resíduos com altos teores de metais e outros componentes tóxicos. A remoção por precipitação dos metais ocorre a partir de ajustes do pH do efluente industrial, formando hidróxidos metálicos insolúveis (RIBEIRO; PAIM; ROCHA, 2006). Os metais sedimentados são removidos nos próprios reatores, e constituem o assim chamado Resíduo Sólido Galvânico ou “lodo galvânico” (INEA, 2014). O lodo galvânico, resíduo gerado após o tratamento de efluentes em indústrias metalmeccânicas, contém espécies metálicas tais como Cobre, Níquel, Zinco, Cromo e Ferro, potencialmente tóxicos, especialmente o Cromo (cancerígeno), portanto é categorizado como “resíduo perigoso” (OZBAS et al, 2013). Representa uma fonte potencial de contaminação ambiental por apresentar uma elevada concentração de metais pesados, sendo classificado como Resíduo Perigoso Classe I (NBR-10.004/2004).

O armazenamento dessas lamas antes do tratamento e disposição final representa uma preocupação como um meio passivo ambiental, devido à sua alta toxicidade (ALVES et al., 2012). A disposição final da lama gerada deve ser realizada em aterros industriais controlados ou, quando possível, pode ser enviada para co-processamento em fornos de clínquer, o que representa custos significativos de implantação e manutenção, consistindo, ainda, em um impacto ambiental negativo considerável. Por outro lado, quando realizada de forma inadequada, contribui para uma grande acumulação de materiais ambientalmente perigosos na crosta terrestre, pois quando dispostas por um longo período, substâncias perigosas podem ser liberadas e podem percolar através das camadas do solo chegando às águas subterrâneas (ŚWIERK et al., 2007). Nesse contexto, surge uma alternativa para minimização desses resíduos, a adoção de técnicas de Produção mais Limpa (P+L) pelas indústrias.

A P+L é uma importante ferramenta que tem promovido o desenvolvimento sustentável da sociedade, desde sua criação (NARA et al., 2015). Tem como objetivo aumentar a eficiência no uso de recursos (matérias-primas, água e energia), mediante a não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, sendo um de seus pontos fortes para a sustentabilidade o fato de não focar apenas no tratamento de resíduo ou emissões finais criados no processo, mas também busca agir na fonte geradora do resíduo ou no decorrer do processo em que ele é formado, tentando, assim, eliminar ou minimizar sua geração (NARA et al., 2015).

Análise lexicométrica de conteúdos sobre resíduos sólidos galvânicos constitui uma ferramenta analítica para orientar pesquisas na área de estudo. A análise textual é um tipo específico de análise de dados, que trata de material verbal transcrito, ou seja, de textos produzidos. Permite analisar um grande volume de textos, a partir da utilização de software como o IRAMUTEQ (Interface R para Análise Multidimensional de Textos e Questionários). O software permite realizar análises multidimensionais de textos de natureza diferente. Especialmente útil para o trabalho de pesquisa com um volume de informações difíceis de trabalhar manualmente, facilita e economiza tempo na interpretação de textos (BUENO, 2017). É possível identificar o contexto em que as palavras ocorrem, executar a análise lexical do material textual e particionar o texto em classes hierárquicas, identificadas a partir dos segmentos de textos que compartilham o mesmo vocabulário (SALVIATI, 2017).

Do exposto, o presente estudo teve por objetivo identificar e analisar o que foi publicado sobre o resíduo industrial galvânico, utilizando para tanto a técnica de mineração de textos, visando realizar uma análise léxica e de conteúdo sobre documentos acadêmico-científicos que versam sobre o tema. Para tanto, o *software* IRAMUTEQ foi adotado, permitindo sintetizar os 57 trabalhos encontrados durante a pesquisa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de produções científicas sobre o tema em estudo foi realizada através de busca no banco de dados de dissertações, teses e periódicos do portal da CAPES e do Google Acadêmico. Esses bancos de dados têm como objetivo principal o armazenamento e a disseminação de produção científica em formato eletrônico. Para fins analíticos, optou-se pela utilização dos resumos da produção científica selecionada para construção do *corpus*.

O critério para exclusão consistiu em eliminar do *corpus* todos os trabalhos não relacionados com o tema “resíduo industrial galvânico” ou “lodo galvânico”, sendo também excluídos os que não disponibilizavam acesso aos dados.

Para a organização dos resumos foi utilizado o Libre Office, e posteriormente criado um arquivo.txt para leitura no *software* Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*) versão 0.7 alpha 2, programa baseado no método de Alceste e desenvolvido por Pierre Ratinaud.

A análise lexicométrica no Iramuteq passa por várias fases. Primeiro realiza-se uma análise do que é comum a todo o *corpus*, isto é a coleção de documentos elencados, onde o vocabulário é listado de acordo com a sua frequência, sendo possível analisar o perfil geral do *corpus*. As palavras mais frequentes são em geral as compartilhadas por todo o *corpus*. Em seguida, acontece a análise do que difere. A análise de especificidades permite destacar o que difere entre os atributos de uma variável (por exemplo, entre autores diferentes ou em diferentes períodos temporais). É uma ferramenta crucial para testar hipóteses (MUTOMBO, 2013).

O *corpus* textual foi analisado através das técnicas de Classificação Hierárquica Descendente (CHD) e Análise Fatorial Confirmatória (AFC). A seleção de palavras ocorreu através do Teste de Chi-Quadrado, adotando-se nível de significância de 1%. O Iramuteq é um *software* gratuito e desenvolvido sob a lógica *open source*, licenciado por GNU GPL (v2). Ele ancora-se no ambiente estatístico do *software* R (R CORE TEAM, 2017) e na linguagem python (www.python.org).

O *software* também realiza análises estatísticas sobre *corpus* textuais e sobre palavras (CAMARGO & JUSTO, 2013). Trabalha com unidades de contexto iniciais (UCIs) que podem ser estruturadas de diferentes maneiras dependendo do caráter dos dados coletados. Neste sentido, as diferentes classes que emergem do *corpus* do texto representam o espaço de sentido das palavras narradas e podem sugerir elementos pertencentes aos estudos sobre resíduo industrial galvânico.

A lexicometria baseia-se em estatísticas e no pressuposto de que o ‘número conta’, que a repetição de palavras não é independente da definição da temática do *corpus* (MUTOMBO, 2013). Neste sentido, as diferentes classes que emergem do *corpus* do texto representam o espaço de sentido das palavras narradas e podem sugerir elementos pertencentes aos estudos sobre resíduo industrial galvânico. Permite a geração de gráficos demonstrativos da análise de similitude, com o agrupamento das palavras em função da sua frequência e a Classificação Hierárquica Descendente (CHD) através do valor do qui-quadrado (CAMARGO & JUSTO, 2013).

Conforme MUTOMBO (2013), a CHD não deve ser considerada como uma questão de ocorrências de numeração, pois, destacar os mundos léxicos e o potencial significado coerente, depende da distribuição das palavras e, portanto, das relações entre as palavras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

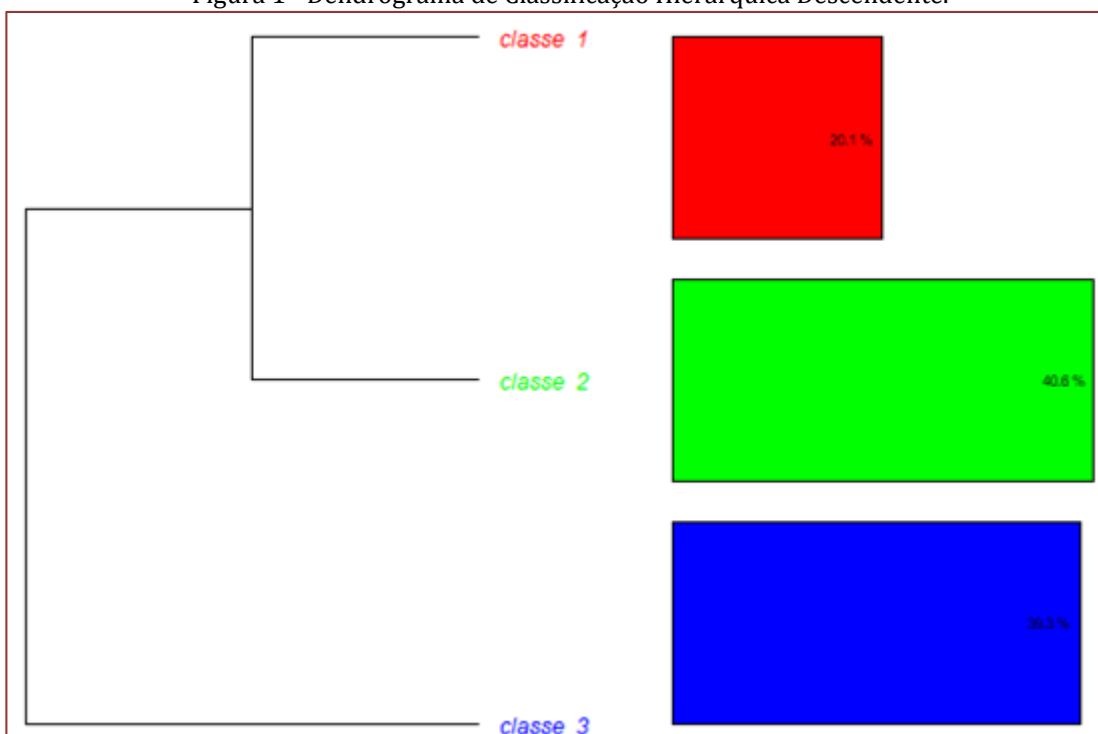
A análise léxica foi realizada com o objetivo de investigar as publicações que versam sobre a temática dos resíduos galvânicos. Utilizou-se de resumos de teses, dissertações e artigos científicos, sendo que os dois primeiros tipos de documentos, foram extraídos do catálogo de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os artigos científicos foram obtidos do banco de dados do Google Scholar e Periódicos da CAPES publicados no Brasil e também por publicações internacionais sobre o tema, colaborando desse modo para uma busca genérica sobre as pesquisas atuais.

Como critério de inclusão, foi adotado o uso de trabalhos localizados por meio do termo indutor “lodo galvânico”. A busca dos trabalhos aconteceu no período compreendido entre setembro e novembro de 2017. Foram encontrados e analisados 57 trabalhos, divididos entre teses, dissertações e artigos científicos. Sendo a primeira publicação encontrada, datada do ano de 1996 e a segunda de 1998, as demais aparecem desde o ano de 2001 a 2017.

Cada trabalho corresponde a uma UCI, que por sua vez, cada trecho desse corresponde a uma unidade de contexto elementar (UCE). Desse modo, segue a descrição do *corpus*: composto por 57 UCIs que deram origem a 391 UCEs que continham 13.583 palavras, 2.732 formas, 1.348 Hapax (com uma frequência média de ocorrência de 9,92% por palavra e uma frequência, número de formas ativas com a frequência média de 49,34% de ocorrência por seguimento), e média de ocorrência por texto 238,30, número de formas ativas com a frequência ≥ 3 : 808 e número de clusters: 3.

Para a análise, foram consideradas as palavras com frequência superior a três e qui-quadrado igual ou superior a 3,19. A taxa de UCEs retidas para a análise foi de 75,70%, sendo 296 segmentos de textos classificados dentre as 391 UCEs. Após a redução dos vocábulos às suas raízes obteve-se 2.083 lematizações, 377 palavras ou formas ativas analisáveis e 1.185 formas suplementares. A Classificação Hierárquica Descendente deu origem a três classes compostas por segmentos de texto diferentes entre si, conforme a Figura 1. As palavras consideradas foram as que apresentaram maior grau quantitativo de significância baseada no teste qui-quadrado $< 0,0001$.

Figura 1 - Dendrograma de Classificação Hierárquica Descendente.

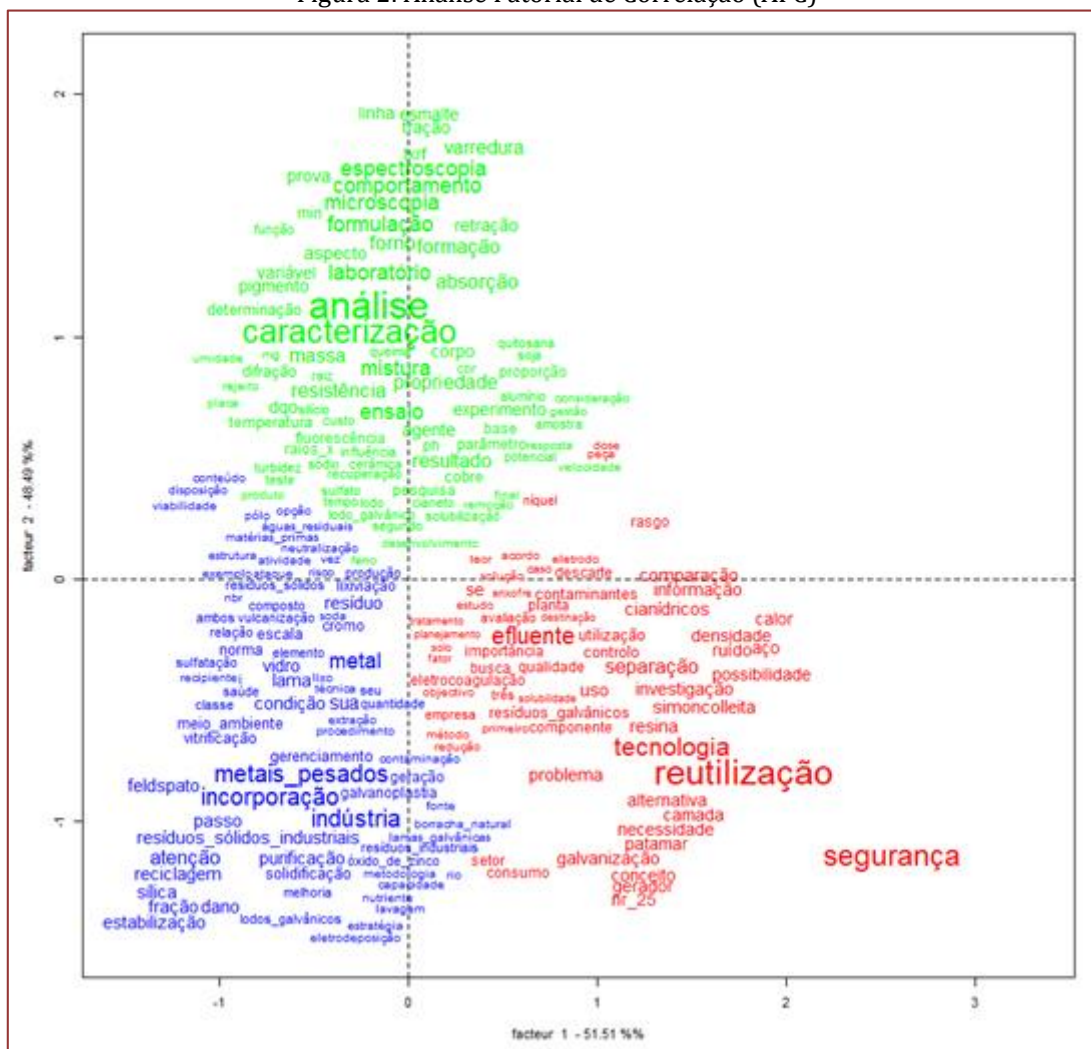


O Dendrograma de Classificação Hierárquica Descendente (Figura 1) permite compreender os temas mais abordados relacionados aos resíduos industriais galvânicos, analisando a partir dos resumos que mais se correlacionaram com as classes. Nessa figura, que ilustra as relações interclasses, a leitura deve ser feita de cima para baixo, ou seja, num primeiro momento, o *corpus* foi dividido em dois subgrupos. Num segundo momento, o subgrupo superior foi dividido em dois, do qual resultaram as Classes 1 e 2, e o subgrupo inferior é representado pela Classe 3. Isso significa que as Classes 1 e 2 possuem menor relação ou proximidade com a Classe 3. Conclui-se com estas três classes, compostas por Unidades de Contexto Elementar (UCE) com vocabulário semelhante. Ao realizar a Análise Fatorial de Correspondência (AFC), o Iramuteq permitiu visualizar, sob a forma de um plano fatorial, as posições resultantes da CHD.

Na Figura 2, pode-se observar que as três classes estão em quadrantes distintos, ou seja, cada classe abrange contextos semânticos específicos, que se referem à raiz semântica da palavra que mais interferiu na classe e permite perceber a ação das variáveis e das três classes observadas. No eixo vertical, destacam-se dois agrupamentos de palavras, que explicam 48,49% da variância total das UCE e remetem para dois campos semânticos: um no plano superior, com as contribuições da Classe 2, e outro em oposição, no plano inferior, onde se posicionam as palavras oriundas da Classes 3 e 1. A Classe 2, que remete para estudos relacionados à composição química do resíduo galvânico. Quanto às Classes 1 e 3, embora dispostas no mesmo eixo fatorial, aparecem aglomeradas no eixo horizontal, explicando 51,51% e remetendo para um conjunto de estudos inerentes ao processo de reutilização do resíduo galvânico.

Para descrever os resultados da classificação em 3 classes, pode-se distinguir um grupo que resulta da partição do *corpus*, conforme Figura 02. Esta partição foi analisada como Fator 1 da análise fatorial por correspondência (CFA). O Fator 1 explica 51,5% de inércia (ou de variância), ou seja, de diferenças entre as classes e o Fator 2 explica 48,5%. Nesta seção, cada classe é introduzida ao longo das primeiras palavras de seu perfil lexical (às vezes, algumas formas significativas são adicionadas com "..."). Um parágrafo sintetiza a primeira fase de interpretação para cada grupo de classes antes do desenvolvimento dessa interpretação através dos fatores AFC na próxima seção.

Figura 2: Análise Fatorial de Correlação (AFC)



Neste gráfico, pode-se observar a análise linear das variáveis, isso significa dizer que a combinação de valores gerados simplifica o montante de dados outrora obtidos, para tanto, nesse sentido, observa-se que a somatória dos componentes principais obtidos no eixo “X” de 51,51% com os do eixo “Y” que atingiu um valor de 48,48%, alcança um valor de 99,99%, ou seja, esse gráfico é capaz de explicar 99,99% da quantidade total dos resumos em estudo. Quanto à leitura do gráfico, pode-se observar que as palavras apresentam uma dispersão, dinâmica esperada, tendo em vista o elevado teor de explicação do presente gráfico, dentre as palavras, as que apresentam destaque são: análise, reutilização, caracterização, incorporação, metais pesados, tecnologia e efluente. As palavras que tiveram destaque chamam atenção no sentido de serem intimamente relacionadas com a dinâmica empresarial deste setor, bem como, relacionadas a questões como recuperação, incorporação e tratamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As produções existentes a respeito do resíduo industrial galvânico contemplam aspectos relacionados à recuperação de metais, aos potenciais riscos causados ao meio ambiente e à incorporação do lodo na fabricação de outros tipos de materiais. Outro dado levantado demonstra grande influência na busca pelo desenvolvimento de tecnologias e/ou técnicas para o reaproveitamento dos resíduos altamente poluentes da indústria galvânica contribuindo assim com a redução da disposição inadequada dos resíduos gerados no ambiente.

Foi verificado que embora os trabalhos do levantamento bibliográfico abordem questões como recuperação, incorporação e tratamento, não se faz relação com o tema “sustentabilidade”. Portanto, recomenda-se aos autores em suas produções científicas futuras, associar os estudos sobre resíduos industriais galvânicos aos temas desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. E que também enfatizem nas pesquisas processos que contribuam para a adoção de práticas de produção mais limpa pelas indústrias do setor.

REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012/Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012.
- [2] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10.004: Resíduos Sólidos- Classificação. São Paulo, Brasil, 2004.
- [3] ALVES, L. C.; AMATO-LOURENÇO, L. F.; MIRAGLIA, S. G. E. K.; SEO, E. S. M. Environmental Valuation of the Galvanic Solid Waste Generated in a Chroming Processes. In: ISEE Conference - Ecological Economics and RIO + 20, 2012, Rio de Janeiro. Anais do ISEE Conference - Ecological Economics and RIO + 20, 2012.
- [4] BUENO, A. R. Trabajar con IRAMUTEQ: pautas. Documento de consulta. 2017. Disponível em: <http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/113063/1/Trabajar_con_IRAMUTEQ_PAUTAS.pdf>
- [5] CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. IRAMUTEQ: Um *software* gratuito para análise de dados textuais. Revista temas em Psicologia, V.21(2), p.513-518, 2013.
- [6] DE PAULA FILHO, FRANCISCO JOSÉ; MARINS, ROZANE VALENTE; DE LACERDA, LUIZ DRUDE ; AGUIAR, JOSÉ EDVAR ; PERES, TIAGO FARIAS . Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. Marine Pollution Bulletin, v. 91, p. 424-428, 2015.
- [7] INEA- Instituto Estadual do Ambiente. Galvanoplastia: orientações para o controle ambiental. Rio de Janeiro. Revista INEA, 2ª ed., 2014.
- [8] MUTOMBO, E. A bird's-eye view on the EC environmental policy framing. 10 years of Impact assessment at the commission: The Case of DG ENV: ICPP 2013. 1st International Conference on Public Policy; Grenoble, p. 26-28, 2013.
- [9] NARA, E. O. B.; GERHARD, G.; SEHN, K. T.; MORAES, J. A. R.; SILVA, A. L. E. Aplicação da metodologia de produção mais limpa em um processo de rotomoldagem como uma ferramenta sustentável aplicada à segurança do trabalho. Exacta, vol. 13, núm. 1, pp. 377-389. Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil, 2015.
- [10] OZBAS, E.E.; GOKÇE, C.E.; GUNEYSU, S.; OZKAN, H.K.; SEZGIN, N.; AYDIN, S.; BALKAYA, N. Comparative metal (Cu, Ni, Zn, total Cr, and Fe) removal from galvanic sludge by molasses hydrolysate. Journal Chemical Technology and Biotechnology. 2013.
- [11] RAMALHO, S. M. L. Diretrizes para implementação de um sistema de gestão ambiental ISSO 14001:04 em empresas de galvanoplastia de bijuterias. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental, IPT, São Paulo, 2006.

[12] RIBEIRO, B.M., PAIM, T.S. ROCHA; S.D.F. Precipitation of heavy metals using magnesium based compounds. In: Proceedings of the XXII Interamerican Congress on Chemical Engineering, Buenos Aires, Argentina, em CD-ROM, 2006.

[13] SALVIATI, M. E. Manual do Aplicativo Iramuteq. Planaltina, 2017. Disponível em: <<http://iramuteq.org/documentation/fichiers/manual-do-aplicativo-iramuteq-par-maria-elisabeth-salviati>>.

[14] ŚWIERK, K., BIELICKA, A.; BOJANOWSKA I.; MAĆKIEWICZ, Z. Investigation of Heavy Metals Leaching from Industrial Wastewater Sludge. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 3, p. 447-451, 2007.

Capítulo 3

Diagnóstico e caracterização de resíduos de madeiras obtidos em madeireiras da cidade de Manaus

Asthon César Nunes de Oliveira Filho

Jéssica de Souza Fortes

Valdete Santos de Araújo

Carla Souza Calheiros

Raimundo Pereira de Vasconcelos

Resumo: O objetivo geral desta pesquisa é realizar os ensaios de caracterização dos resíduos de madeiras coletados em madeireiras da cidade de Manaus. Para tanto, foram feitas, primeiramente, pesquisas em sites da internet e in loco, para o levantamento das madeireiras existentes por zonas na cidade de Manaus e os resíduos gerados por elas. Com o levantamento de madeireiras e resíduos de madeiras (pó de serra e amostras), foi possível verificar onde se poderiam obter os materiais a serem utilizados nesta pesquisa. Os resíduos obtidos foram caracterizados através da separação, identificação e classificação em MDF (painéis de fibras de média densidade) Cru, MDP (painéis de partículas de média densidade) Cru, MDF Revestido, MDP Revestido e Aparas de MDF Revestido. Verificando-se que o MDF é o material mais presente entre os resíduos coletados, com 91,97%. Apesar de o MDP está pouco presente, ele também poderá ser reutilizado na aplicação final que a pesquisa destinará aos resíduos, tanto MDF, quanto MDP, quanto outros tipos de madeiras: placas de madeira aglomerada.

Palavras-Chave: Resíduos, madeira, madeireiras.

1. INTRODUÇÃO

No processo de beneficiamento da madeira da Região Amazônica, principalmente das madeiras do Estado do Amazonas, há uma geração considerável de resíduos, ainda não reaproveitados. Apesar de poucos, há estudos para o reaproveitamento dos resíduos de madeiras (LIMA, 2012), como por exemplo, o desenvolvimento de painéis com o emprego do resíduo gerado durante o beneficiamento da madeira, no Estado do Amazonas e a resina do óleo de mamona pode gerar um novo produto com potencial uso no setor da construção civil, com resultados satisfatórios, considerando os parâmetros da NBR 14810/2006 que regulamenta os requisitos e métodos de ensaio para chapa de madeira aglomerada.

A construção civil tem como característica um alto consumo de recursos naturais, entre eles, a madeira; e seus resíduos sólidos estão entre os principais, pois geram um grande impacto ambiental. A maior parte dessa madeira é produzida na região amazônica e termina nos canteiros de obras das construtoras.

A região da Amazônia, assim como a cidade de Manaus, possui um grande potencial madeireiro, e uma grande diversidade de árvores, a maior parte das quais com pouco ou nenhum estudo a respeito de seu potencial. Além disso, a Floresta Amazônica é uma grande geradora de matéria-prima e a construção civil e a indústria da madeira são grandes geradoras de resíduos sólidos. A reciclagem é uma importante forma de aproveitamento de matéria-prima, agregando valor ao material.

A madeira apresenta uma série de vantagens em relação a outros materiais, por ser uma matéria-prima renovável, pela boa resistência em relação à massa específica e por ser reciclável. Portanto, o objetivo geral desta pesquisa é realizar os ensaios de caracterização dos resíduos de madeiras da Amazônia coletados em madeiras da cidade de Manaus, com a finalidade de utilizá-los posteriormente no desenvolvimento de painéis particulados de resíduos de madeira para aplicação no setor da construção civil e na indústria moveleira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa foi feita primeiramente com o levantamento bibliográfico. Posteriormente, houve a confecção de um Formulário de Informações Cadastrais (FIC), composto de dados básicos para a realização do diagnóstico de fornecedores de madeiras em Manaus, feito a partir de pesquisas na internet e visitas *in loco*. Após o levantamento, escolheu-se pelo menos um fornecedor por zona para a coleta do material (resíduo) a ser utilizado, primeiramente, nos ensaios de caracterização dos resíduos de madeiras coletados.

Os ensaios de caracterização dos resíduos foram baseados em normas e no trabalho já realizado por Lima (2012), consistindo em: identificação e classificação dos resíduos.

A pesagem e caracterização dos resíduos foram realizadas no Laboratório de Materiais da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas utilizando-se de uma balança Maxon MX-111 (± 5 g), Figura 1.

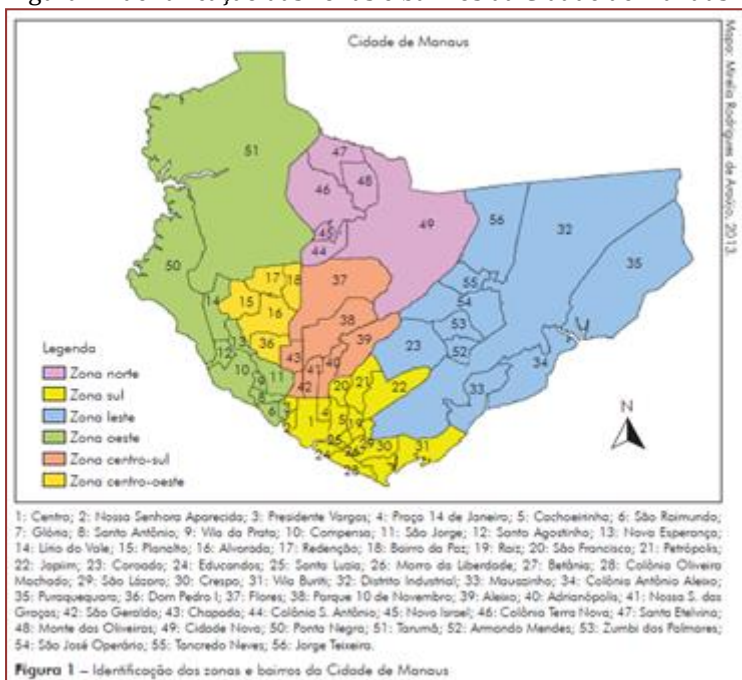
Figura 1. Balança Maxon MX-111 (± 5 g)



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento bibliográfico facilitou a identificação das zonas (e seus respectivos bairros) da cidade de Manaus (Figura 2) e de algumas madeireiras aparentemente existentes (Figura 3).

Figura 2. Identificação das zonas e bairros da Cidade de Manaus



Fonte: Google Maps, 2016

Figura 3. Identificação de (algumas) madeireiras da Cidade de Manaus



Fonte: Google Maps, 2016

Com o início das visitas, foi verificado que as madeireiras, apresentadas no mapa da Figura 3, estão com informações desatualizadas, ou porque não existem mais ou porque há novas madeireiras encontradas. Dessa forma, sendo possível a atualização de madeireiras, conforme a Figura 4.

Figura 4. Mapa de madeireiras da Cidade de Manaus atualizado (Zona Leste)



Outro dado constatado com as visitas foram os resíduos gerados (pó de serra e amostras de madeiras), conforme Figura 5, e seus volumes, sendo possível a mensuração dos mesmos e a verificação de quais madeiras estão disponíveis e poderiam fornecê-los. Assim, posteriormente, houve a coleta de material para a realização dos ensaios de caracterização previstos.

Figura 5. Resíduos verificados na primeira madeireira visitada (Zona Sul)



Os resíduos foram coletados sem discriminação de características tendo em vista o aproveitamento generalizado dos resíduos gerados pelas madeireiras. A Figura 6 mostra a coleta sendo realizada e os materiais sendo separados, enquanto a Tabela 1 mostra a quantidade de material coletado na primeira coleta realizada no mês de abril.

Figura 6. Resíduos coletados no mês de abril de 2017



Tabela 1. Quantidade de material coletado ao longo do projeto

| Materiais | MDF Revestido | MDF Cru | Aparas de MDF Revestido | MDP Revestido | MDP Cru | Total |
|-----------------|---------------|---------|-------------------------|---------------|---------|--------|
| Peso (Kg) | 3,255 | 8,505 | 4,385 | 0,305 | 1,105 | 17,555 |
| Porcentagem (%) | 18,54 | 48,45 | 24,98 | 1,74 | 6,29 | 100 |

Pode-se observar pelas imagens que os resíduos possuem forma, tamanho e características muito variadas, o que leva a escolha de se produzir painéis de aglomerados, uma vez que esse material pode ser moído para homogeneização.

A caracterização dos materiais foi realizada pela simples discriminação dos resíduos adquiridos em cinco categorias já apresentadas anteriormente:

- MDF Cru: Restos de corte de painéis de fibra de madeira sem revestimento.
- MDP Cru: Restos de corte de painéis de aglomerado sem revestimento.
- MDF Revestido: Restos de corte de painéis de fibra de madeira com revestimento.
- MDP Revestido: Restos de corte de painéis de aglomerado com revestimento.
- Aparas de MDF Revestido: Tiras de MDF revestido aparadas da peça original.

4. CONCLUSÕES

A pesquisa apresenta a obtenção de dados que devem ser considerados, com o levantamento de madeiras na cidade de Manaus verificou-se que os dados de muitas deles estão desatualizados, principalmente na Zona Leste da cidade, portanto há a necessidade de averiguar os dados de outras zonas para uma atualização total desses dados.

Os resíduos obtidos foram caracterizados através da separação, identificação e classificação em MDF (painéis de fibras de média densidade) Cru, MDP (painéis de partículas de média densidade) cru, MDF Revestido, MDP Revestido e Aparas de MDF Revestido. Verificando-se que o MDF é o material mais presente entre os resíduos coletados, com 91,97%.

Outra questão a ser observada é que a quantidade de resíduos coletados é suficiente para a produção da segunda etapa da pesquisa, a produção de painéis com madeiras aglomeradas, visto que haverá a moagem para homogeneização dos resíduos, isto garante uma destinação correta aos resíduos gerados, independente de suas classificações, sejam MDF, MDP ou espécies de madeiras da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- [1] LIMA, M. D. F. Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

Capítulo 4

Estudo sobre usina de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição no Estado da Paraíba

Ana Letícia Nóbrega Rabello Tavares

Cinthia Maria de Abreu Claudino

Maria Ingridy Lacerda Diniz

Thiago da Sá Sena

Resumo: Com os recursos naturais cada vez mais escassos e o aumento da demanda por matérias primas no setor da construção civil, a melhor maneira de resolver esse problema é reciclar. Mas mudar radicalmente a forma que um setor trabalha não é tão fácil e a reciclagem de entulhos encontra barreiras na sua disseminação no Brasil. Então, esse estudo buscou analisar bibliograficamente a situação da reciclagem de resíduos da construção civil e demolição no geral por meio de normas e publicações que abordam tal temática, e também verificou a prática da reciclagem de resíduos da construção civil e demolição no estado da Paraíba. A usina de reciclagem trata de uma boa parte da demanda, porém com a crescente demanda pela reciclagem de resíduos da construção civil, nota-se a necessidade de mais usinas no estado paraibano. Ademais, a única existente é administrada por órgãos públicos e situa-se em um bairro residencial.

Palavras-Chave: Reciclagem de RCC, Resíduos sólidos, Usinas de reciclagem.

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras concentrações urbanas, o tratamento de resíduos já era uma problemática. Muitas vezes sendo despejado em corpos aquáticos e diretamente no solo, poluindo esses meios. Por outro lado, a demanda por matérias primas cresce e a exploração de recursos naturais acabam levando ao fim de tais recursos. O desperdício gerado pelo mal planejamento agravava ainda mais o quadro da situação.

A construção civil é classificada como um dos setores que mais consomem matérias primas de recursos naturais. Bem como, um dos setores que mais gera resíduos sólidos, sendo eles produzidos na construção ou na demolição. Assim, apenas a adoção de medidas, que implantem a reutilização dos resíduos gerados, podem ajudar a evitar a escassez de recursos.

Os recursos naturais explorados pela indústria da construção civil estão ficando cada vez mais escassos e distantes das áreas de concentração urbana, o que provoca um aumento nos custos e dificulta a utilização de materiais. Ao mesmo tempo que os resíduos gerados na construção civil, quando não tratado da forma correta, pode causar grandes danos ao meio ambiente, principalmente se for depositado em locais inadequados.

Diante desse quadro, surge a necessidade de locais onde o resíduo da construção civil (RCC) e o resíduo da construção e demolição (RCD) possam ser reciclados para ser utilizado novamente, para assim evitar tantos impactos ambientais, tanto ao extrair matérias primas desnecessariamente quanto no descarte de resíduos de forma irregular.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) elaborou a resolução nº 307, que estabelece como devem ser tratados os resíduos de construção nas áreas urbanas. A fim de reduzir os potenciais danos causados pela deposição inadequada desses resíduos. Essa norma prevê a implantação de Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil para cada município.

Normas complementares que abordam tal temática também estão presentes entre as normas brasileiras elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como por exemplo as Normas ABNT – NBR 15.112/2004, que regula o trato do RCC de acordo com a resolução do CONAMA, e as demais ligadas aos processos de reaproveitamento como as Normas ABNT – NBR 10.004/2002, ABNT – NBR 12.980/2004, ABNT – NBR 15.112/2004, ABNT – NBR 15.113/2004, que aborda a questão dos resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes destinados a aterros sanitários e ABNT – NBR 15.114/2004, que diz respeito aos resíduos sólidos da construção civil destinados as áreas de reciclagem.

Para Miranda et al. (2009), a solução mais adequada é o reaproveitamento do entulho, através da usina de beneficiamento, que pode produzir um agregado, reutilizado pela própria construção civil. Esse tipo de usina tem sido implantada no país nos últimos anos, com o objetivo de otimizar o processo de reutilização do resíduo, reduzindo a demanda por aterros sanitários, bem como o impacto ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na resolução 307 do CONAMA estão as definições de vários termos ligados ao gerenciamento de resíduos da construção, bem como a classificação para tais resíduos em classes de A até D conforme critérios de reciclagem, reuso e perigo a saúde do ser humano. No caso dos resíduos reutilizados como agregado na construção civil, os quais vão para usinas, são os da classe A tais como os provindos de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tijolos, blocos, cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resina, argamassa, telhas, pavimento asfáltico, comumente chamados de metralha.

A reciclagem de resíduos a construção civil é praticada há anos. No entanto a reciclagem do RCD só aumentou depois da Segunda Guerra Mundial, especialmente na Alemanha. Segundo Pinto (1999) praticamente todos os países-membro da comunidade europeia têm instalações de reciclagem de RCD, normas e políticas específicas para este tipo de resíduo, além de um esforço mais recente para consolidação de normativa única para toda a Europa. No Brasil, a experiência é recente, iniciada em 1991. A instalação destes equipamentos aconteceu em alguns municípios como resultado de planos de gestão dos RCD e, em outros, como simples aquisição de equipamentos descoordenada de um planejamento de ações, o que inevitavelmente compromete os resultados a serem alcançados, eliminando em alguns casos qualquer impacto positivo da presença destas instalações.

De acordo com Miranda et al. (2009), até o ano de 2002, o país contava com 16 usinas, possuindo uma taxa de crescimento mais reduzida (até três usinas inauguradas por ano). Depois da publicação da resolução 307 pelo CONAMA, essa taxa de crescimento aumentou (de três a nove usinas instaladas por ano). Atualmente, já podem ser citadas pelo menos 47 usinas de reciclagem, sendo 24 públicas (51% do total) e 23 privadas (49% restante). Das 36 usinas que estão em operação ou em instalação, 15 (42%) são públicas e 21 (58%) são privadas.

3. METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico em relação as diretrizes para projeto, implantação e operação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil, bem como foi feita uma pesquisa sobre o número de usinas em atividade no estado da Paraíba. A fim de verificar aspectos do seu funcionamento como o número de construtoras vinculadas, porte de reciclagem diário, as consequências de sua implantação nos seus arredores.

Além disso, foram coletados dados quanto à destinação e uso dos agregados gerados pelas usinas de reciclagem. E com base nesses dados, foram avaliados os benefícios ambientais.

3.1. USINAS DE RECICLAGEM

Área de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição: estabelecimento destinado ao recebimento e transformação de resíduos da construção civil e demolição designados como Classe A, já triados, para produção de agregados reciclados conforme especificações da Norma Brasileira (NBR 15.114/2004).

Para Sobral (2012), uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil é o instrumento adequado para a transformação do RCC gerado em agregado reciclado, comumente utilizado novamente na construção civil, visto que se o RCC fosse depositado de forma irregular no meio ambiente causaria muito mais prejuízos.

O ciclo da reciclagem dos resíduos da construção e demolição está ilustrado na Figura 1 abaixo.

Figura 1: Ciclo da Reciclagem do RCC



Fonte: <http://www.usifort.com.br/>, acesso em 07/05/2016

O resíduo captado, é primeiramente pré-selecionado, para em seguida, nas usinas ser encaminhado para as estações de reciclagem, onde são selecionados (deixando apenas entulhos que podem ser reciclados), descontaminados, triturados e expedidos em condições de utilização novamente.

3.2. DESAFIOS DA RECICLAGEM NO BRASIL

A lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos traz parâmetros para a aplicação da instituição da logística reversa, estabelecendo que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, através do retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Mas, de acordo com a lei, a logística reversa só é obrigatória nos casos de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e de mercúrio; produtos eletroeletrônicos e seus componentes. (CORNIERI E FRACALANZA, 2010)

Além dessa já citada outra lei que se tornou uma barreira para a reciclagem brasileira foi a Lei Federal de Crimes Ambientais de 1998, que define um estado bem mais preocupado em punir transgressões, ao contrário de trabalhar os diversos agentes na promoção da redução do impacto ambiental das atividades por meio da reciclagem, dificultando a introdução de novas tecnologias na construção civil.

Somado a falta de leis efetivas para o incentivo da reciclagem, outro obstáculo encontrado para a sua implementação é a falta de investimentos mais altos nesse setor por parte dos governos. Grande parte dos processos de reaproveitamento de resíduos dependem de máquinas, equipamentos e pessoas capacitadas, e isso não é possível sem o apoio do governo. (LOMASSO ET. AL. , 2015)

Além da parte governamental por meio da implantação das leis e do incentivo econômico, para que a reciclagem seja efetivada no Brasil é necessário que a população mude a concepção errônea de que um produto fabricado de um material reciclado possui qualidade inferior a outro produto produzido por matérias primas.

Como dito por Lomasso et. al. (2015) o implementação da reciclagem no Brasil ainda está longe de ser tão abrangente quanto seria o ideal, devido à pouca divulgação das iniciativas de incentivo ao reaproveitamento de resíduos, e dos projetos desenvolvidos com enfoque sobre esse tema; além do aspecto cultural, já que, o pensamento socioambiental está pouco presente no dia-a-dia e na educação do povo brasileiro.

Quando trata-se especificamente da reciclagem na engenharia civil, o grande problema é a insegurança quanto ao desempenho com uso de novas tecnologias na construção, acrescido dos baixos custos dos agregados naturais e falta de cultura para segregação de resíduos complicando ainda mais o ato de reciclar.

33. VANTAGENS DA RECICLAGEM

Como principais vantagens da reciclagem, tem-se a preservação de recursos naturais, prolongamento da vida útil de reservas naturais, redução do impacto ambiental; redução de áreas para aterro à diminuição do volume de resíduos; redução custos com energia, seja com a fabricação de bem novo, quanto com o transporte e gerenciamento do aterro. Assim, gerando empregos nas empresas de reciclagem. A redução da poluição fabricando novos produtos mais o fato de não estar contaminando um local forma um conjunto e tanto para o desenvolvimento sustentável. E contribuindo para a sustentabilidade ambiental e social na gestão dos resíduos sólidos, que para Galbiati (2005) constrói-se através de modelos e sistemas integrados que possibilitam a redução dos resíduos gerados, por meio da implantação de programas que permitem a reutilização desse material e, por fim, a reciclagem, para que possam servir de matéria-prima para a indústria, diminuindo o desperdício e gerando renda.

Ainda mais, em alguns casos a adição de agregados reciclados trazem benefícios para o projeto em si, como no caso do aumento da durabilidade da estrutura agregando escória de alto forno e pozolanas ao cimento.

3.4. USINA DE RECICLAGEM NA PARAÍBA

O estado da Paraíba conta com apenas uma usina de reciclagem de resíduo da construção civil. A prefeitura municipal de João Pessoa (PMPJ) instituiu a Lei Municipal Nº 11.176/2007 definindo um sistema de gestão sustentável de resíduos da construção civil e demolição de acordo com o previsto na resolução CONAMA Nº 307.

A Usina de Beneficiamento dos Resíduos da Construção Civil e Demolição (USIBEN), situada no bairro do José América na capital da paraibana, é administrada pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR. De acordo com a PMJP, na USIBEN o entulho é triturado e transformado em matéria-prima para a fabricação de material para pavimentação e de matéria prima de blocos pré-moldados, que serão usados na construção de casas populares e na pavimentação de ruas e avenidas.

Segundo o diretor de Operações da EMLUR, Orlando Soares, o concreto que chega é separado em quatro tipos de materiais específicos: rachão, brita, cascalhinho e pó de brita.

A USIBEN, segundo a PMJP, tem capacidade de processar 20 toneladas de entulho por hora. E cadastra empresas e caçambeiros particulares, dos quais recebem os resíduos, segundo a PMJP, foram esperados 80 cadastros no último período de cadastro que a EMLUR realizou.

A USIBEN está situada como mostrado na Figura 2. Nitidamente uma localidade com predominância residencial, porém a prefeitura optou por um investimento mais em conta e já possuía esse terreno que estava desocupado, mostrando que o local não passou por nenhum estudo técnico mais aprofundado para implantação da usina.

Figura 2: Localização da USIBEN, João Pessoa, PB.



Fonte: Google Maps

Em virtude das consequências geradas no ambiente a partir das ações dos seres humanos, e da ciência de que os recursos naturais são finitos, a alternativa de reciclar materiais se tornou uma grande causa a se considerar, diante do grande aumento de produção e consumo dos produtos naturais. O principal objetivo dessa causa é conciliar a inter-relação entre o ser humano e o meio em que ele está inserido, incentivando o uso consciente dos recursos e reutilizando da melhor forma os resíduos produzidos.

É nesse sentido que se torna substancial que o processo de reciclagem acompanhe concomitantemente aos avanços na tecnologia, pois como o crescimento na área exige novos investimentos e aprimoramentos nas técnicas e meios que visem as melhores maneiras que permitam lidar mais adequadamente com os tipos de resíduos.

A reciclagem aparece então, como uma saída para minimizar os impactos naturais. Já que aplicando os seus conceitos na prática é possível reutilizar uma matéria que já foi pré-utilizada, contribuindo para redução nos custos da produção e na poluição necessários na fabricação de um novo material preservando assim diversos recursos naturais.

Claro que reciclar também gera benefícios diretos na economia local, como afirma Pinto e Coelho (2009), que além de fornecer de fato empregos à comunidade ainda instiga aos moradores a repensar em seus atos e realizarem mudanças em suas atitudes em prol do meio em que vivem além da injeção de recursos na economia local. Provando assim, que empresas que atuam no ramo da reciclagem não necessariamente precisam de grandes investimentos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de todos os dados levantados acerca do funcionamento de uma usina de reciclagem, nota-se a importância de ter um tratamento residual desse tipo quando se lida com resíduos como o da construção civil e demolição, visto que suas vantagens de uso beneficiam a todos, desde de os recursos naturais até o produto final que poderá ser reutilizado.

No entanto, percebe-se que no estado da Paraíba seria preciso mais usinas de reciclagem, visto que a única existente é administrada por um órgão público, fato atrasa o tratamento de um tipo de resíduo que precisa de tanta atenção quanto o da construção civil e demolição.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10.004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro. 2004.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 14.001: Sistema de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro. 2004.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.112: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implementação e operação. Rio de Janeiro. 2004.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro. 2004.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15.114: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem- diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro. 2004.
- [6] FRACALANZA, A. P. ; Cornieri M. G. Desafios do lixo em nossa sociedade. In: Revista Brasileira de Ciências Ambientais - Número 16 – 2010
- [7] JOÃO PESSOA. PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PB. Lei Municipal nº. 11.176/2007: Sistema de gestão sustentável de resíduos da construção civil e demolição e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil. João Pessoa – PB. PMJP. 2007.
- [8] LOMASSO A. L.; Santos, B. R. ; Anjos, F. A. S. ; Andrade, J. C. Silva, L. A.; Carvalho, Q. R. S. , A. C. M. Benefícios e desafios na implementação da reciclagem: Um estudo de caso no centro mineiro de referência em resíduos (CMRR). In: Revista Pensar Gestão e Administração, v. 3, n. 2, 2015
- [9] MIRANDA, L. F. R.; Ângulo, S. C.; Careli, E. D.. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. Ambiente Construtivo – v.9 p. 57-71 Edição de jan/Mar 2009. Porto Alegre. ANTAC. 2009.
- [10] PINTO, T. P., Coelho, R. M. Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil. Belo Horizonte: Recóleo, 2009, 340p
- [11] PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo. USP. 1999.
- [12] SOBRAL, R. F. C. Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos da construção civil: estudo de caso da USIBEN – João Pessoa, PB. João Pessoa-PB, 2012.

Capítulo 5

Indústria 4.0: Aplicação experimental em motor de indução monofásico

José William Ribeiro Borges

Antonio Roniel Marques de Sousa

Elen Priscila de Souza Lobato

Jefferson Alan da Silva Lima

Wellington da Silva Fonseca

Resumo: A quarta revolução industrial já é uma realidade e está gerando grandes impactos, logo é importante conhecer e buscar usufruir ao máximo de seus benefícios. Baseado nisso, utilizou-se do conceito de Indústria 4.0, atrelado a um de seus principais princípios - Internet das Coisas (IoT), para desenvolver uma aplicação experimental utilizando um motor de indução monofásico, muito presente em fábricas e importante componente no processo produtivo. Em síntese, é realizado o sensoriamento do motor, onde os dados de corrente e temperatura são enviados para o software Finite Element Method Magnetics (FEMM), que através método de Elementos Finitos, realiza a análise eletromagnética e térmica. Quem comanda tudo isso é o microcontrolador ESP 32 e toda a comunicação é feita via WiFi.

Palavras-Chave: Indústria 4.0, Internet of Things (IoT), Elementos Finitos, ESP 32.

Trabalho apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC'2018 - 21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

1. INTRODUÇÃO

Estamos no início de uma revolução que nos fará viver uma experiência que será diferente de tudo o que já vivemos, em sua escala, alcance e complexidade (SCHWAB, 2016) A quarta revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0. É um conceito desenvolvido por um projeto alemão que objetiva implementar sistemas de produção inteligentes assegurando a importância da tecnologia como alicerce para a mudança e evolução necessárias na indústria de todo o mundo. Essa metodologia permite coletar e analisar dados entre máquinas, criando processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes para produzir produtos de maior qualidade a custos reduzidos. Assim, essa realidade só se torna possível devido aos crescentes avanços tecnológicos da área da tecnologia da informação e engenharia (KAGERMANN et al., 2013).

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a IoT (*Internet of Things*) definida como uma infraestrutura global que permite o fornecimento de serviços avançados com a interligação de coisas (físicas e virtuais) utilizando as tecnologias de informação e comunicação (AZEVEDO, 2017). Nesse contexto, o emprego de tecnologias de sensoriamento conectado com redes de comunicação permite a coleta de informações em tempo real dos equipamentos, por exemplo, que pode ser integrada às práticas e decisões da administração de produção (SHAROUF et al., 2014).

No cenário brasileiro, há diversos fatores que entram o avanço da Indústria 4.0. O principal deles é a falta de conhecimento sobre as novas tecnologias disponíveis, dessa forma há grande desconfiança acerca dos reais benefícios refletidos para a indústria. Além disso, outros fatores são relacionados ao alto custo de implantação e a falta de pessoal qualificado para utilização das tecnologias. Mesmo diante de tais entraves, é importante incentivar o desenvolvimento do mundo 4.0, indústrias manufatureiras que implementaram soluções em IoT em seu processo produtivo relatam ter 82% de aumento na eficiência, menos 49% de defeitos nos produtos e 45 % obtiveram maior satisfação dos seus clientes (PRWeb, 2018).

Dentro das indústrias brasileiras, o motor elétrico de indução é a máquina mais utilizada, demandando grande quantidade de energia elétrica (MELLO, 2013). Dessa forma, é imprescindível conhecer o comportamento do motor tendo em vista que falhas neste equipamento, as quais proporcionam perdas de produção, energética e econômica para a indústria.

Tendo em vista essa realidade, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de sensoriamento remoto de um motor monofásico, gerando dados de temperatura e umidade, os quais são enviados para um servidor web local, onde o *software* FEMM de simulação computacional utiliza o Método de Elementos Finitos para realização de simulações eletromagnéticas e térmicas, tudo isso de forma automática. Dessa forma, é possível observar o comportamento da máquina em tempo real viabilizando a atuação do operador no caso de fenômenos adversos: como sobreaquecimento, desbalanceamento magnético, entre outros problemas que podem afetar o processo produtivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção, será abordada a metodologia utilizada para desenvolver o sistema. O projeto é subdividido em 7 processos interligados entre si, como exposto na Figura 1. Além disso, a descrição de cada processo será apresentada a seguir.

Figura 1. Fluxograma do sensoriamento do motor monofásico



O sensor de temperatura e umidade DHT11 está acoplado ao motor, os dados são enviados para o microcontrolador ESP32 e posteriormente encaminhados pra o ponto de acesso que se encarrega de os enviar para o servidor web local, no servidor está instalado o programa FEMM, responsável por realizar a análise eletromagnética e térmica dos dados através do método de elementos finitos. Dessa forma, o operador pode realizar a consulta tanto dos dados brutos, quando das análises térmicas e eletromagnética para tomar as decisões que julgar necessárias.

2.1. MOTOR

As máquinas de indução são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações industriais devido ao seu baixo preço, construção simples, menos manutenção e maior confiabilidade (POPESCU & STINGA, 2014). Motor de indução é um motor elétrico construído de tal maneira que se têm dois campos magnéticos girantes, esses equipamentos são compostos basicamente de duas partes: o estator e o rotor.

O estator é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente ou de aço silício para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese. O rotor também é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente, com o formato de anel (vista frontal) (FITZGERALD et al., 1975). Neste trabalho foi utilizado um motor de indução de pequeno porte, a

Figura 2 ilustra o equipamento utilizado. Para efetuar a modelagem do motor foram utilizados os seguintes dados construtivos descritos na Tabela 1.

Figura 2. Motor utilizado no trabalho



Tabela 1. Características do motor utilizado neste trabalho.

| Especificações | |
|----------------|-----------|
| Tensão | 127-240 V |
| Corrente | 1 A |
| Potência | 300-400 W |
| Frequência | 50/60 Hz |
| Rotação | 20000 rpm |

2.2. SENSOR

O DHT11 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras frequentes de temperaturas de 0 a 50° Celsius com $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de margem de erro. O sensor opera entre de 3 a 5.5 V, por isso ele amplamente empregado por microcontroladores. Além disso, possui corrente máxima de 2.5mA durante a captura de dados, ou seja, consumo muito baixo.

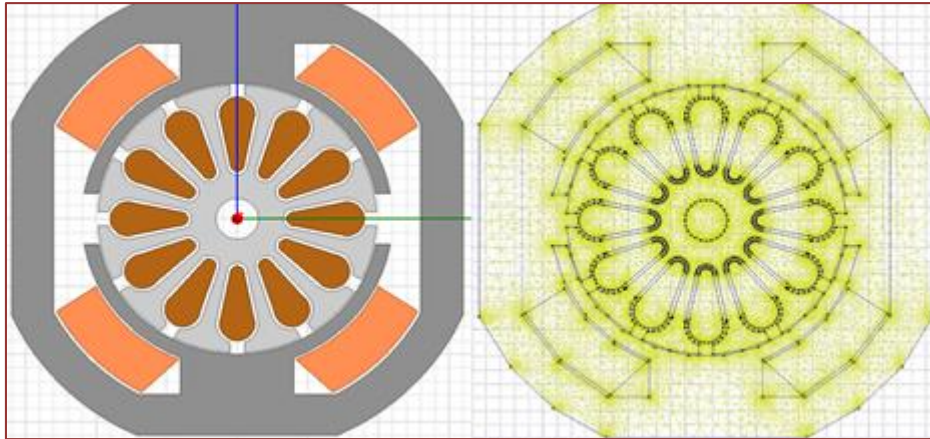
2.3. MICROCONTROLADOR

A ESP32 é um microcontrolador que possui comunicação Wifi e Bluetooth, além de ter com ultra consumo de energia, possibilitando a implementação de projetos com mais eficiência. O modelo utilizado neste projeto foi o da DEV KIT V1.

2.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL - FEMM

Para realização da simulação computacional, os dados coletados foram digitalizados em um documento *.txt* contendo as medições de corrente, temperatura do motor. A partir disso, foi desenvolvido um script em formato *.BAT* que contém instruções capazes de realizar leituras intermitentes dos dados armazenados, além de enviar e abrir para o *software Finite Element Method Magnetics* (FEMM) para implementação das simulações computacionais utilizando o Método de Elementos Finitos (MEF) (MEEKER, 2015). A geometria do motor utilizada para realização das simulações está ilustrada na Figura 3. Os dados obtidos na fase de sensoriamento são inseridos como parâmetros de entrada nas simulações.

Figura 3. Geometria e discretização do motor monofásico



2.5. ANÁLISE MAGNETOSTÁTICA

O *software* FEMM encontra a solução do problema através da Equação 1. Essa equação é obtida a partir das equações de Maxwell na forma estática e considerando também a relação constitutiva da permissividade magnética (MEEKER, 2015).

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 \bar{A} = \bar{J} \quad (1)$$

Onde J densidade de corrente e A potencial vetorial magnético.

Para a simulação, os dados de corrente elétrica são inseridos como parâmetro de entrada. Além disso, a solução do problema é realizada em função do potencial magnético (A) e, a partir disso, podem ser extraídos dados de densidade de campo magnético, força e torque magnéticos no motor. Ademais, é possível obter os dados de perdas resistivas nos enrolamentos que serão inseridos na análise térmica.

2.6. ANÁLISE TÉRMICA

Para a realização da análise térmica, o FEMM soluciona o problema em torno da temperatura do modelo, utilizando a Equação 4. A partir disso, é possível obter os valores de temperatura e gradiente de temperatura no modelo (MEEKER, 2015).

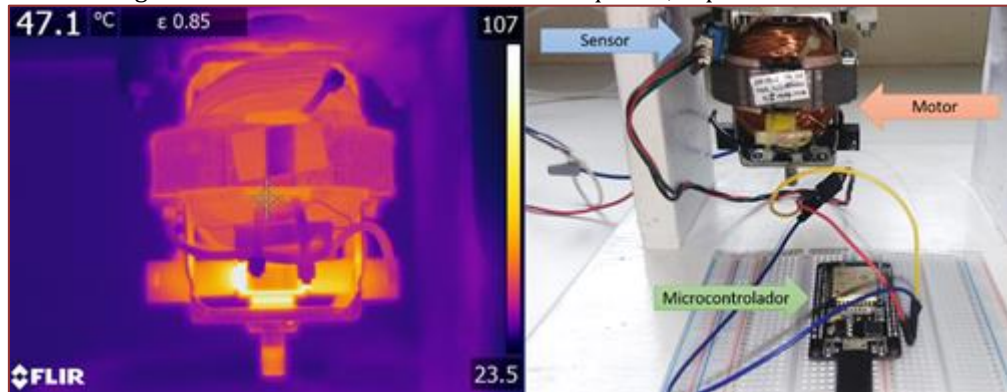
$$-\nabla \cdot (k \nabla T) = q \quad (2)$$

Os dados de temperatura obtidos no sensoriamento são inseridos como condições de contorno na geometria. Além disso, os dados de perdas resistivas adquiridos na análise magnética são implementados como fonte de calor nessa análise. Dessa forma, é possível analisar o comportamento térmico do motor a cada dado recebido pelo sensoriamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, os dados de corrente e temperatura do motor foram extraídos e enviados para o microcontrolador ESP32, capaz de enviar os dados para o servidor web local de modo a realizar o armazenamento. Os dados obtidos pelo sensoriamento são inseridos em arquivo de texto pelo microcontrolador e armazenados diretamente no computador onde o FEMM será utilizado.

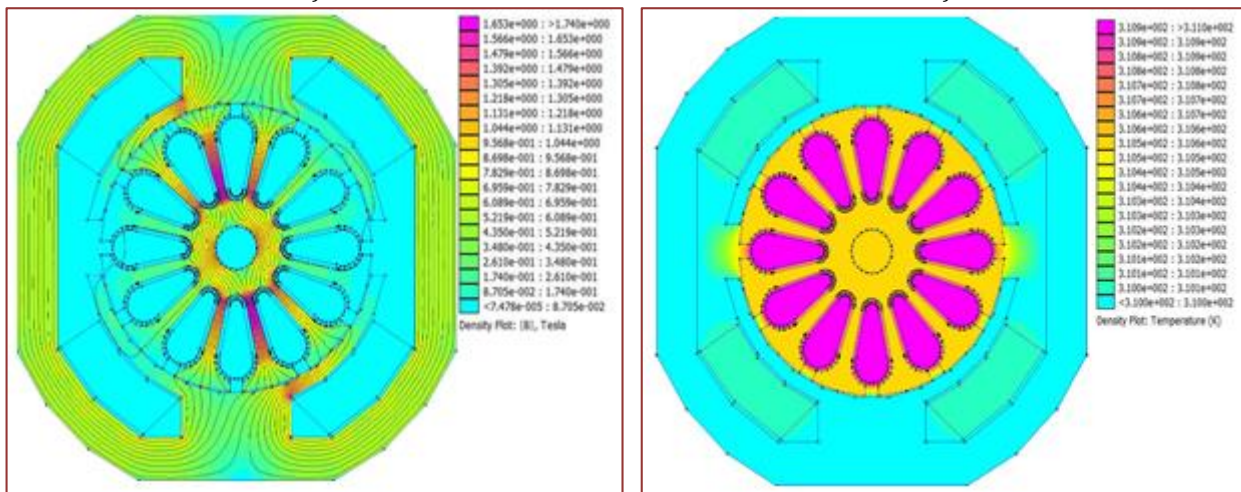
Figura 4. Termograma do motor em funcionamento a esquerda, experimento montado a direita.



A Figura 4, a esquerda, ilustra um termograma do motor em funcionamento que foi utilizado para calibrar as medições de temperatura do sensor, e a direita está o experimento montado.

Assim, os resultados obtidos pelas simulações computacionais estão ilustrados na Figura 5. Na Figura 5(a), é possível observar a distribuição de densidade de campo magnético no motor monofásico a partir dos dados obtidos através do sensoriamento, os maiores valores dessa grandeza estão localizados no rotor do equipamento demandando observação do operador para fenômenos mecânicos. Na Figura 5(b), apresenta-se a distribuição de temperatura no motor com a inserção das perdas resistivas nos enrolamentos onde os maiores valores de temperatura estão localizados nessa região.

Figura 5. Análise magnética (a) e térmica (b) utilizando o *software* FEMM



4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento e implementação do projeto está em estágio inicial devido às dificuldades encontradas dada a complexidade da comunicação e da diversidade de sistemas, a qual dificultou a sua integração. Dessa forma, alguns subprocessos abordados anteriormente ainda estão em processo de aprimoramento, como o armazenamento dos dados que passará a ser em nuvem, para poder contemplar mais um dos princípios da indústria 4.0, a computação em nuvem. Porém, *a priori*, os resultados obtidos demonstram a viabilidade do projeto e comprovam que sua implementação em nuvem irá o aprimorar ainda mais, por isso como proposta de melhorias no mesmo, esta última etapa está em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- [1] Azevedo, M. T. de. Transformação digital na indústria: Indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil. 177f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- [2] Fitzgerald, A. E.; Kingsley, C.; Kusko, A. J.: Maquinas Elétricas. 322p. Tradução de Josefa Neves. Editora McGRAW-HILL do Brasil, LTDA. 1975.
- [3] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 working group. Federal Ministry of Education and Research, Alemanha. 2013. 82.
- [4] Meeker, D. Finite element method magnetics version 4.2: User's manual. 161 p, 2015.
- [5] Mello, R. L. C. Eficiência energética e motores elétricos trifásicos de indução. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em engenharia de sistemas eletrônicos, automação e controle industrial). Instituto Nacional de Telecomunicações. Minas Gerais, 2013.
- [6] Sharouf, F.; Ordieres, J.; Miragliotta, G. Smart factories in Industry 4.0: a review of the concept and energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In: Proceedings of the 2014 IEEE IEEM, 2014. Bandar Sunway. Anais. Malaysia, 2014.
- [7] Popescu, D.; Stinga, F.: Robust Model Predictive Control of an Induction Motor. 6p. Proceedings of the 18th International Conference on System Theory, Control and Computing, Sinaia, Romania, October 17-19, 2014.
- [8] PRWeb *apud* Tudo sobre IoT. Tudo sobre IoT. 2018. Disponível em: <tudosobreiot.com.br/OQUEEIOT>. Acesso em: 28 de maio de 2018
- [9] Schwab, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. 1ª São Paulo: EDIPRO, 2016.

Capítulo 6

Confecção e análise de blocos de argamassa translúcida

Fernanda dos Santos Gentil

Claudia Claumann da Silva

Resumo: Ao longo da história da humanidade os seres humanos perceberam a necessidade de melhorar o meio em que vivem, ou seja, sempre buscaram desenvolver novos conhecimentos e tecnologias para mediar sua existência singular e coletiva na Terra. Em virtude disso, aborda-se nesse artigo uma temática relevante quanto aos quesitos da sustentabilidade e da eficácia na engenharia de materiais. Trata-se da argamassa translúcida. A pesquisa teve como base no desenvolvimento do concreto translúcido que foi criado em 2001 por Áron Losonczi. Sua primeira ideia foi à confecção de um painel com a mistura de cimento e fibra óptica obtendo um material onde a luz o atravessava. Percebeu-se, através de análise, que o material apresentava a resistência de um concreto convencional, que permitia conduzir eletricidade e possibilitava enxergar as formas do meio externo. O concreto translúcido apresenta um custo alto ao ser comparado ao concreto convencional, no entanto, é um componente que proporciona ao ser humano inúmeras vantagens, dentre elas a sensação de segurança quando instalado em escadas e saídas de emergência. Associado a isso é um material mais maleável e impermeável em virtude da presença das fibras e principalmente por apresentar a capacidade em transmitir a luz de um extremo a outro da estrutura sem perder a sua funcionalidade, ou seja, a sua condição de transmissão.

Palavras-Chave: Concreto Translúcido; Fibra óptica; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O concreto, como elemento de construção, é um material versátil de extrema importância para a economia; é fundamental para a arquitetura moderna, para o desenvolvimento da ciência, para o crescimento da engenharia e da qualidade de vida de uma sociedade (ISAIA et al, 2010).

A ideia de concreto se estabeleceu em tempos antigos. Primeiramente iniciou-se com os egípcios, em seguida com os gregos e logo após com os romanos os quais aprenderam a misturar cal, água, areia e pedra. Com o passar dos tempos foi se aprimorando e novas descobertas foram feitas, dentre elas, estava o concreto propriamente dito.

Esta inovação tinha o propósito de elaborar um componente que, combinado com tecnologia e aditivos, pudesse proporcionar materiais mais resistentes e duráveis. Com o objetivo de atingir este fim, foram realizadas diversas pesquisas que possibilitaram a aplicação do concreto em construções de moradias e infraestruturas. Em virtude desse avanço houve uma melhora na qualidade dos materiais que compõem o composto e consequentemente o concreto incorporou mudanças na construção civil provocando a transformação do espaço (RESTREPO, 2013).

Nesse ambiente de constante inovação tecnológica insere-se a temática desse artigo, ou seja, a argamassa translúcida a qual é constituída pela argamassa convencional e fibras ópticas. Esses últimos elementos possibilitam a passagem de raios luminosos de um lado ao outro da estrutura, dessa forma é possível enxergar as sombras dos objetos. A adição dessas fibras contribui para a redução do consumo de energia, ou seja, a partir da sua utilização observa-se maior aproveitamento da luz natural. Essa inovação proporciona construções mais sustentáveis, as quais preservam os recursos naturais.

Essa tecnologia caracteriza-se por ser aplicada tanto em ambientes internos quanto externos devido à sua resistência frente as mudanças climáticas. Em virtude da sua flexibilidade pode ser adaptado a qualquer tamanho e projeto que o cliente necessite e além disso, permite a elaboração dos elementos com um melhor acabamento da superfície (GLAUCIA, 2014).

O bloco de argamassa translúcida possui a capacidade de decorar o ambiente, devido à ampla variedade de cores com as quais o material pode ser pigmentado. O acabamento desse composto é mais fino e uniforme se comparado com o material convencional, o qual apresenta um aspecto mais grosseiro. A utilização dessa inovação proporciona a personificação das paredes, com a possibilidade de infinitos desenhos, símbolos, etc., os quais ficam evidentes com a incidência de luz, tanto natural quanto artificial (GIACOMELLI e MANTOVANI, 2014).

As argamassas reforçadas com essas fibras passam a ter aplicações diferentes da argamassa convencional. Dependendo do diâmetro da fibra o material é utilizado na fabricação de painéis de fachada, divisórias dentro de uma construção, por exemplo, divisórias dentro de um presídio com intuito de maior controle dos presos, em lombadas, em rampas de acesso entre outros.

Outro aspecto relevante de ser mencionado é quanto ao custo do material em m^2 que comparado ao convencional pode passar a ser cinco vezes maior. Esta diferença de valor está relacionada com três fatores, dentre eles, o custo do material, pois além dos valores dos componentes tradicionais utilizados na produção da argamassa convencional, acrescenta-se o custo da fibra óptica; o custo de produção, ou seja, há necessidade de profissionais e maquinaria especializada para a execução do material e o terceiro fator está relacionado com a denominação ao valor agregado que possui um produto por ser novo no mercado (RESTREPO, 2013).

Estes estudos são significativos para a renovação da indústria, principalmente a da construção civil, pois um de seus propósitos está voltado para o aperfeiçoamento das propriedades já existentes no concreto.

O Objetivo deste artigo é desenvolver um bloco de argamassa com fibras óticas e analisar a resistência à compressão desse material comparado a argamassa tradicional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do protótipo foram cimento, areia e fibra óptica.

O cimento usado foi o cimento CP II Z 32 devido as suas diversas possibilidades de aplicações, assim como maior disponibilidade no mercado.

Foram empregados, para a preparação da mistura, areias com granulometrias de 0,15 mm e de 0,6 mm. Este uso deve-se ao posicionamento das fibras do molde que proporcionou poucos espaços vazios entre as

mesmas. Em virtude disso não foram usados materiais com dimensões maiores os quais não cobririam estes espaços.

No desenvolvimento dos ensaios foram utilizadas fibras do sistema *endlight*, ou seja, é um sistema pontal uma única fonte de luz ilumina diversos pontos óticos com pouca perda no trajeto e com um diâmetro de 0,75mm.

Este componente foi escolhido por apresentar algumas características favoráveis como a eficiência energética, o alto índice de reprodução de cores, alta durabilidade, a manutenção é esporádica, ecoeficiência e apresenta flexibilidade de aplicação (FASA, 2011).

Para a execução do protótipo foram analisados alguns trabalhos. Dentre os métodos de elaboração do concreto translúcido estudados foi realizado uma mistura de informação tanto da pesquisa de Mestrado de Laura Restrepo quanto o estudo de caso realizado no 56º Congresso Brasileiro de Concreto 2014 por pesquisadores da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Esses trabalhos contribuíram com os resultados ao teste de compressão e quanto a forma de dispor as fibras.

Foi confeccionada uma fôrma de madeira com dimensões de 5x 5x 10 cm para colocar a argamassa com fibras óticas de 0,75 mm. Essas fibras foram agrupadas em dois diâmetros de 10 mm cada um, em uma das faces maiores da caixa, já na outra face foram dispostas de forma pontuais. Para posicionar as fibras de forma pontual foi necessário realizar furos transversais de 2 mm os quais contribuíram para passagem de quatro fibras neste espaçamento.

A fôrma confeccionada possibilitou que as fibras fossem fixadas em sua posição final, sendo que o espaçamento e os diâmetros usados foram determinados através de um software. Na posição horizontal foram feitos 12 furos e na vertical 6. Neste projeto, foi empregada aproximadamente uma quantidade de 11% de fibra ótica em relação ao volume da argamassa executada. Utilizou-se esta quantidade com a finalidade de aumentar a passagem de luz pelas mesmas.

Na sequência iniciou-se a elaboração da argamassa translúcida com a montagem, ou seja, o recorte da fôrma de madeira a partir das dimensões mencionadas anteriormente, logo após foi necessário utilizar uma furadeira para perfurar as faces maiores da caixa a fim de fazer os diâmetros estabelecidos (figura 1).

Figura 1: Perfuração dos diâmetros



Fonte: Arquivo das pesquisadoras (2016)

Após perfurados os diâmetros para a passagem das fibras montou-se a fôrma de madeira, ou seja, fechou-se, de forma bem consistente, todos os lados com a ajuda de uma fita bem resistente com objetivo de ser mais fácil para realizar a desforma do material. Em seguida foi passado, nas faces internas do molde, a vaselina sólida que também tinha a finalidade de facilitar o desmolde do composto. Finalizada esta etapa, passaram-se quatro fibras em cada diâmetro presente nas faces da caixa.

Finalizada a preparação da fôrma com as fibras, pode-se observar que a ideia de elaborar o concreto, com a utilização de brita, não seria viável, devido o posicionamento das fibras no interior da fôrma, por isso deu-se início ao preparo da argamassa, sendo uma pasta que apresentava na sua composição, materiais com granulometrias mais finas, com isso proporcionou de forma satisfatória o preenchimento dos pequenos espaços vazios entre as fibras.

Com o objetivo de ter uma argamassa com boa trabalhabilidade e tentar reduzir o custo do material, a próxima etapa executada foi a determinação do traço do composto. No Quadro 1 estão retratadas as quantidades dos materiais utilizados e seus respectivos traços.

Quadro 1: Traço da argamassa

| Traço de argamassa | | | | |
|--------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| Materiais | Cimento | Areia 0,15 mm | Areia 0,6mm | Água |
| unid: g | 1004,2/1004,2 | 1872/1004,2 | 449,4/1004,2 | 572,4/1004,2 |
| Traço | 1 | 1,864 | 0,448 | 0,57 |

Fonte: Arquivo das pesquisadoras (2016)

Em seguida foram moldados quatro corpos de prova sem as fibras ópticas em sua composição para serem rompidos aos 28 dias. Para a moldagem foram utilizados moldes cilíndricos de altura 5x 10 cm. Antes de iniciar o preenchimento dos moldes foi aplicado desmoldante. Logo depois a argamassa foi colocada dentro dos moldes e em seguida, cada corpo de prova foi colocado em um agitador de peneiras a fim de adensar melhor a argamassa.

Ainda no mesmo dia foi confeccionado o bloco com fibras ópticas, ou seja, foi colocada a argamassa no molde confeccionado 5x 5x 10 cm a qual já apresentava as fibras ópticas posicionadas (figura 2). Foi deixado o composto na água e depois foram cortadas as fibras de cada face do molde como se pode observar na figura 3. Logo após foi realizada a desforma dos quatro corpos de prova sem fibras ópticas.

Figura 2: Preparação do protótipo



Fonte: Arquivo das Pesquisadoras (2016)

Figura 3: Protótipo de argamassa translúcida



Fonte: Arquivo das Pesquisadoras (2016)

Foi necessário realizar o preparo do traço para a elaboração dos outros quatro corpos de prova, mas agora, com adição de 0,5% de fibra em relação ao volume utilizado de argamassa, ou seja, para esse ensaio foi acrescentado 5 g de fibras na mistura. Estes corpos de prova foram rompidos aos 28 dias.

Na sequência foi realizado a desforma dos moldes que tinham em sua composição a fibra óptica, logo após esta etapa foi dado início ao processo de capeamento dos oito corpos de prova e em seguida realizou-se a cura destas amostras.

O próximo passo a ser executado foi o ensaio de resistência à compressão o qual foi baseado nos procedimentos da NBR 5739/1994. Os corpos de prova foram rompidos aos 28 dias.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado deste trabalho o valor de resistência à compressão da argamassa, para os corpos de prova sem fibra óptica realizados neste projeto foi de 22,65 MPa aos 28 dias, já para os corpos de prova com fibra óptica foi de 18,42 MPa.

De acordo com os resultados obtidos dos rompimentos dos corpos de prova, pode-se constatar que, neste caso, houve uma redução da resistência à compressão com a utilização da fibra óptica. Para a utilização desta inovação em obras com função estrutural deve-se ser realizados novos testes, ou seja, requer maiores estudos, mas a sua utilização não prejudicaria uma obra que tenha como objetivo valorizar o caráter estético do ambiente.

4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento do projeto primeiramente pode-se perceber a importância do concreto como elemento construtivo, e como este elemento pode ser alterado com intuito de melhorar a eficiência de um sistema construtivo.

Através das pesquisas e dos valores obtidos verificou-se a aplicabilidade de blocos com argamassa translúcidas em elementos não estruturais e como parte na composição da arquitetura. As pesquisas realizadas proporcionaram evidenciar que o composto possui um preço relativamente caro se comparado com a argamassa convencional. A ideia de custo pode ser variável, pois depende da percepção de valor dado ao produto quanto a sua aplicação e seus benefícios.

Foi notável que a incorporação de fibras ópticas no material tradicional era possível, pois os estudos mostram a transmissão de luz e ao mesmo tempo a conservação das propriedades dos materiais presentes no concreto.

Um fato importante de relatar, e está presente no processo de confecção do bloco translúcido, é a disposição das fibras ópticas, as quais devem ficar expostas nas faces do concreto para permitir o contato da luz e conseqüentemente possibilitar que o composto deixe ultrapassar a luminosidade para o ambiente projetado.

Outro aspecto abordado de forma sucinta no projeto foi com relação ao tema sustentabilidade, pois é visível a atuação exagerada do homem sobre o planeta, o ser humano se encontra desatento e sem preocupação com o esgotamento dos recursos naturais no meio ambiente. Então, com o objetivo de retardar o esgotamento desses recursos e reduzir a poluição ambiente é necessário o uso eficiente dos recursos naturais não renováveis.

Em virtude desses e de outros fatores é importante a utilização de meios alternativos para contribuir na preservação do meio ambiente, dentre esses meios estão à confecção do bloco translúcido o qual ajuda a reduzir ligeiramente o consumo de energia nas edificações.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto-Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Maio, 2007.
- [2] Giacomelli, A; Mantovani, C. Concreto Translúcido: A nova tendência estética na construção. 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional, 2014. Anais.
- [3] Isaia, G. C. Materiais de Construção civil: E princípios de ciência e engenharia de materiais. Vol2. 2ª edição. Ibracon. São Paulo, 2010.
- [4] Restrepo, Laura. Concreto Translúcido: estudo experimental sobre a fabricação de painéis de concreto com fibra óptica e as suas aplicações na arquitetura. 2013. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

Capítulo 7

Produção de partículas submicrométricas de PMMA por atomização de solução polimérica em meio líquido circulante (Nanoprecipitação Modificada)

André Anderson Costa Pereira

Anderson Alles de Jesus

Ênio Rafael de Medeiros Santos

Elisa Maria Bittencourt Dutra de Sousa

Jackson Araujo de Oliveira

Thelma Sley Pacheco Cellet

Vanessa Hafemann Fragal

Vitor Fernandes Dias Lopes

Resumo: Partículas poliméricas produzidas a partir de polímeros pré-formados, como poli(metacrilato de metila (PMMA)), tem sido amplamente utilizados como sistemas carreadores para liberação controlada de fármacos, cosméticos e nutracêuticos, e no recobrimento de materiais com propriedades magnéticas. Sendo assim, o principal objetivo do presente estudo diz respeito à produção de partículas submicrométricas de PMMA por atomização de solução polimérica em meio líquido circulante. Neste trabalho, soluções poliméricas em acetona foram preparadas em diferentes concentrações (1% a 3% em massa) e precipitadas em fase aquosa, sem a utilização de tensoativos, a temperaturas distintas (10 a 30°C). Análises de distribuição de partículas (DLS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas no intuito de avaliar as características morfológicas das partículas formadas. Os resultados demonstraram que é possível obter partículas poliméricas submicrométricas com morfologia esférica utilizando a técnica abordada no presente estudo. Observou-se também que, a depender das condições experimentais, é possível obter tamanhos de partículas específicas.

Palavras-chave: PMMA, atomização, partículas submicrométricas.

1. INTRODUÇÃO

Em geral, as técnicas para a produção de partículas poliméricas submicrométricas estão baseadas em sistemas de polimerização em mini-emulsão ou emulsão⁽¹⁻⁵⁾, onde são necessários diversos reagentes químicos, tais como monômero, iniciador, emulsificante e estabilizante, podendo resultar na presença de impurezas residuais nas partículas formadas⁽⁶⁾. Além disso, condições ótimas de polimerização são necessárias para se alcançar as partículas no tamanho desejado. Para tal, são utilizados sistemas de alta agitação ou mesmo ultrassom para quebrar as gotas em dimensão nanométrica⁽⁷⁾.

Em comparação com as técnicas de polimerização, a formação de partículas (cápsulas e/ou esferas) pelo processo de precipitação a partir de polímeros pré-formados apresenta diversas vantagens, que incluem a simplicidade de execução, a utilização de poucos reagentes, a possibilidade de controle do tamanho das partículas, baixa contaminação da suspensão resultante, bem como um maior rendimento das formulações⁽⁸⁻¹¹⁾. Além disso, há um grande potencial de incorporação de princípios ativos tanto lipofílicos quanto hidrofílicos nas partículas formadas⁽¹²⁾.

Dentre as técnicas de precipitação a partir de polímeros pré-formados, o mais comum é a nanoprecipitação/deslocamento de solvente. Desenvolvida por Fessi em 1989, esta técnica apresenta vários fatores que afetam na propriedade das partículas obtidas, que incluem natureza do solvente orgânico, concentração do polímero, temperatura da fase externa, entre outros⁽¹³⁻¹⁶⁾. Basicamente, a técnica permite a precipitação das partículas de polímero por difusão entre a fase orgânica e aquosa, especificamente, na interface da duas fases que devem ser parcialmente miscíveis⁽¹²⁾.

No presente trabalho, foram preparadas partículas poliméricas de poli (metacrilato de metila) (PMMA) usando um spray atomizador baseado no princípio da precipitação/cristalização interfacial líquido-líquido. Análises de distribuição de partículas (DLS) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram realizadas com o intuito de avaliar as características morfológicas das partículas formadas. Os resultados demonstram que é possível obter partículas de tamanho reduzido. Vale ressaltar também que a concentração polimérica, temperatura da fase externa, quantidade/característica do líquido antisolvente utilizado, bem como, diâmetro do bico de atomização influenciaram significativamente na morfologia destas partículas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

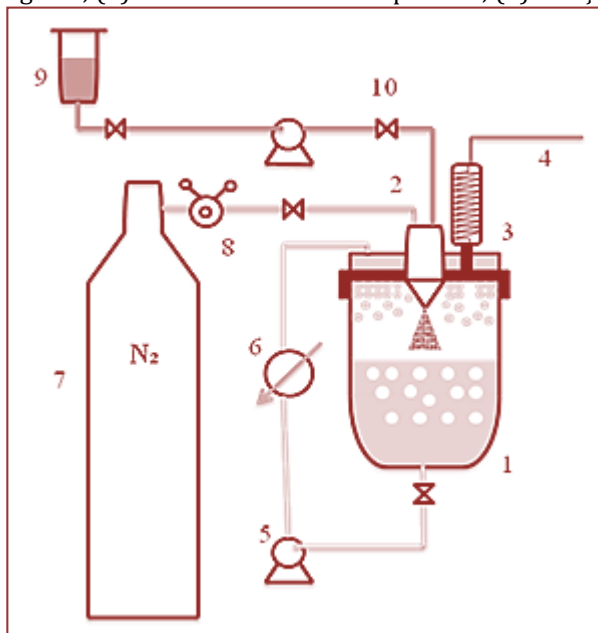
Poli (metacrilato de metila) (PMMA) de massa molar de 120 kDa e índice de polidispersão entre 2,0 a 2,4, bem como a acetona foram obtidas pela Sigma Aldrich, ambos com pureza mínima de 99,5%. O atomizador utilizado foi do tipo duplo fluido com câmara de mistura, construído em aço inoxidável e com partes internas em Teflon⁽¹⁴⁾. Além da solução de PMMA em acetona, foi utilizado nitrogênio (N₂) como fluido de atomização.

2.2. MÉTODOS

Precipitação polimérica

Após a total solubilização do polímero na acetona, a solução polimérica foi bombeada com vazão constante de 4 mL/min através de uma bomba isocrática de fluxo positivo para o atomizador posicionado na parte de cima da câmara de precipitação. Após esta etapa, a solução polimérica entra em contato com o gás de atomização (N₂) e é aspergido de forma intermitente (a cada 1 segundo) sob pressão constante de 1kgf/cm² em 300 mL de líquido antisolvente (água destilada) contido dentro da câmara. Este líquido antisolvente é recirculado na câmara de precipitação, passando por um prato perfurado que promove um fluxo de contato entre o antisolvente e o jato atomizado (spray) de solução. O meio circulante é mantido a uma temperatura desejada, através de um banho termostatizado que promove a troca térmica com a camisa da câmara de precipitação. Ao final da corrida é feita a coleta da suspensão. O esquema do aparato experimental descrito no procedimento citado acima está representado na Figura 1.

Figura 2 – Aparato experimental utilizado para a formação das partículas poliméricas. Constituído de: (1) vaso precipitador; (2) bico atomizador; (3) prato perfurado; (4) condensador; (5) bomba; (6) trocador de calor; (7) cilindro de nitrogênio; (8) válvula de controle de pressão; (9) solução polimérica e (10) válvulas.



Os experimentos foram realizados em diferentes concentrações poliméricas e temperaturas do meio aquoso, como representado na Tabela 1, seguindo o planejamento experimental do tipo dois fatores e três níveis de interação, conforme a Tabela 2.

Tabela 1 – Variáveis independentes utilizadas nos experimentos.

| Var. independentes | Nível | | |
|---------------------------------------|-------|----|----|
| | -1 | 0 | 1 |
| (X ₁) Concentração %(w/w) | 1 | 2 | 3 |
| (X ₂) Temperatura (°C) | 10 | 20 | 30 |

Tabela 2 – Planejamento experimental do tipo dois fatores e três níveis 3².

| Formulações | (X ₁) | (X ₂) |
|-------------|-------------------|-------------------|
| NP1 | -1 | -1 |
| NP 2 | -1 | 0 |
| NP 3 | -1 | 1 |
| NP 4 | 0 | -1 |
| NP 5 | 0 | 0 |
| NP 6 | 0 | 1 |
| NP 7 | 1 | -1 |
| NP 8 | 1 | 0 |
| NP 9 | 1 | 1 |

Determinação de tamanho e morfologia das partículas

Distribuição de Tamanho de Partícula (DTP) e polidispersividade foram determinadas por Espalhamento de Luz Dinâmico (ELD) usando um Zetasizer Nano ZS®. Antes de cada aferição, as amostras foram deixadas por 1h em banho ultrasônico. Vale salientar que tamanho médio e polidispersividade foram mensuradas três vezes para cada amostra. A forma e aparência das partículas foram analisadas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

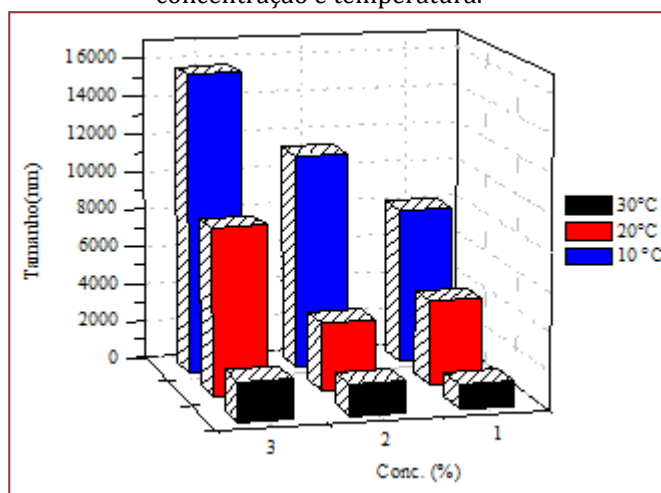
3.1. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO POLIMÉRICA NO DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS

Como ilustrado na Figura 2, o efeito da concentração no tamanho médio das partículas produzidas pela atomização pode ser analisado nas colunas em que temperaturas da fase aquosa estão no mesmo nível. O tamanho médio das partículas cresce com o aumento da concentração polimérica na solução. Isto se deve a redução da difusão do solvente na fase aquosa. O aumento de concentração polimérica reduz a difusão do mesmo e, conseqüentemente, aumenta a viscosidade da solução^(12,13,18). Desta forma, aumentando também o tamanho das partículas obtidas na suspensão.

3.2. EFEITO DA TEMPERATURA NO DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS

O efeito da temperatura no tamanho médio das partículas produzidas pode ser avaliado nas colunas em que as concentrações poliméricas se apresentam constantes. Como também ilustrado na Figura 2, o tamanho médio de partícula decresce mediante o aumento de temperatura da fase aquosa. Isto se deve a dependência da tensão superficial da água com a temperatura utilizada no planejamento^(19,20). Desta forma, o aumento da temperatura corrobora na diminuição da tensão interfacial da fase aquosa e, conseqüentemente, facilita a difusão entre as fases, resultando numa redução do tamanho das partículas obtidas na suspensão.

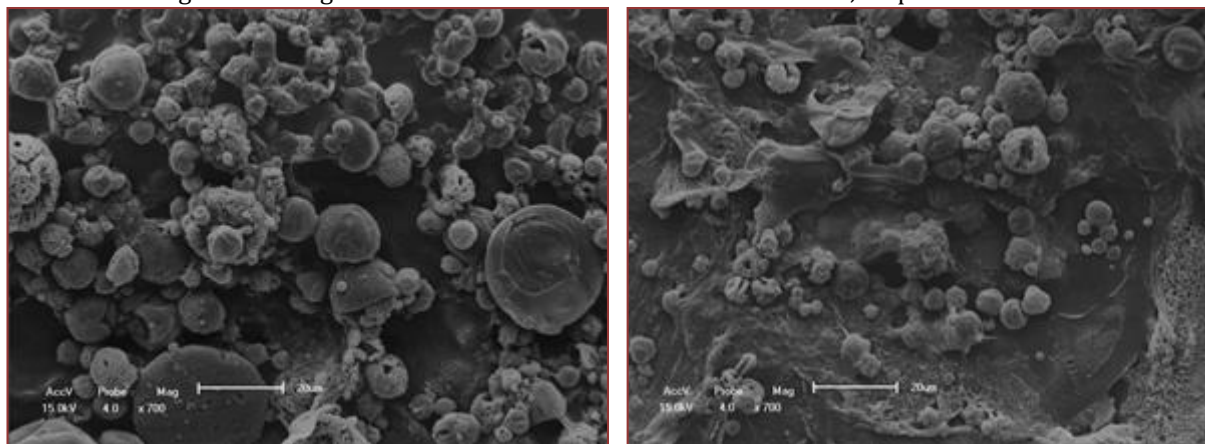
Figura 3 – Gráfico tridimensional que mostra a variação das partículas (nm) com mudanças na concentração e temperatura.



3.3. MORFOLOGIA DAS PARTÍCULAS FORMADAS

Ao final do planejamento experimental aplicado neste trabalho, foram obtidas imagens de micrografia eletrônica de varredura (MEV) das partículas formadas de duas amostras NP 2 e NP 3. Conforme a Figura 3, as partículas apresentaram um aspecto de morfologia esférica com tamanhos não uniformes e na região de nano para micrométrica.

Figura 3 – Imagens de MEV obtidas das amostras NP 2 e NP 3, respectivamente.



4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitiram concluir que a precipitação de partículas submicrométricas a partir da atomização de solução polimérica em líquido antisolvente (nanoprecipitação) é tecnicamente viável e apresenta vantagens quanto à simplicidade de execução, mas que ainda constitui um estudo em andamento. Com a técnica investigada, foi possível formar partículas esféricas com diferentes DTP. A temperatura do líquido antisolvente circulante e a concentração de polímero na solução foi avaliada e demonstraram influência sobre o tamanho da partícula formada. Desta forma, podem-se obter partículas poliméricas de menor tamanho nos níveis de maior temperatura e menor concentração. Por fim, este trabalho tem como próximo objetivo avaliar a inserção de diferentes materiais na partícula a ser formada, dentre elas, pode-se incluir, princípios ativos, materiais magnéticos e etc. Também, é de interesse de investigação em trabalhos futuros a formação desde nano/microcápsulas a nano/microesferas com diferentes polímeros.

REFERÊNCIAS

- [1] E. B. SOUTO, P. SEVERINO, E M. H. A. SANTANA, “Preparação de nanopartículas poliméricas a partir da polimerização de monômeros: parte I”, *Polímeros*, vol. 22, no 1, p. 96–100, 2012.
- [2] M. ANTONIETTI E K. LANDFESTER, “Polyreactions in miniemulsions”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 27, no 4, p. 689–757, 2002.
- [3] A. M. OLIVEIRA, L. C. P. MARIA, G. M. ALVES, E A. M. SANTOS, “Encapsulamento do Dióxido de Titânio (TiO₂) pela Técnica de Polimerização em Emulsão”, vol. 12, p. 123–129, 2002.
- [4] P. M. BEDE, “Produção e caracterização de nanopartículas polimérico-magnéticas paraaplicações biomédicas”, p. 73, 2010.
- [5] A. ANŽLOVAR, Z. CRNJAK OREL, E M. ŽIGON, “Poly(methyl methacrylate) composites prepared by in situ polymerization using organophilic nano-to-submicrometer zinc oxide particles”, *Eur. Polym. J.*, vol. 46, no 6, p. 1216–1224, 2010.
- [6] K. J. KIM, “Nano/micro spherical poly(Methyl methacrylate) particle formation by cooling from polymer solution”, *Powder Technol.*, vol. 154, no 2–3, p. 156–163, 2005.
- [7] C. G. DOBIE E K. V. K. BOODHOO, “Surfactant-free emulsion polymerisation of methyl methacrylate and methyl acrylate using intensified processing methods”, *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 49, no 9, p. 901–911, 2010.
- [8] S. KIM, W. K. NG, Y. DONG, S. DAS, E R. B. H. TAN, “Preparation and physicochemical characterization of trans-resveratrol nanoparticles by temperature-controlled antisolvent precipitation”, *J. Food Eng.*, vol. 108, no 1, p. 37–42, 2012.
- [9] E. ELIZONDO, A. CÓRDOBA, S. SALA, N. VENTOSA, E J. VECIANA, “Preparation of biodegradable poly (methyl vinyl ether-co-maleic anhydride) nanostructured microparticles by precipitation with a compressed antisolvent”, *J. Supercrit. Fluids*, vol. 53, no 1–3, p. 108–114, 2010.

- [10] A. A. THORAT E S. V. DALVI, "Liquid antisolvent precipitation and stabilization of nanoparticles of poorly water soluble drugs in aqueous suspensions: Recent developments and future perspective", *Chem. Eng. J.*, vol. 181–182, p. 1–34, 2012.
- [11] M. W. PARK E S. DO YEO, "Antisolvent crystallization of carbamazepine from organic solutions", *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 90, no 12, p. 2202–2208, 2012.
- [12] E. B. SOUTO, P. SEVERINO, E M. H. A SANTANA, "Preparação de nanopartículas poliméricas a partir de polímeros pré-formados: parte II", *Polímeros*, vol. 22, no 1, p. 101–106, 2012.
- [13] K. MILADI, S. SFAR, H. FESSI, E A. ELAISSARI, "Encapsulation of alendronate sodium by nanoprecipitation and double emulsion: From preparation to in vitro studies", *Ind. Crops Prod.*, vol. 72, p. 24–33, 2015.
- [14] S. HORNIG, T. HEINZE, C. R. BECER, E U. S. SCHUBERT, "Synthetic polymeric nanoparticles by nanoprecipitation", p. 3838–3840, 2009.
- [15] P. LEGRAND, S. LESIEUR, A. BOCHOT, R. GREF, W. RAATJES, G. BARRATT, E C. VAUTHIER, "Influence of polymer behaviour in organic solution on the production of polylactide nanoparticles by nanoprecipitation", *Int. J. Pharm.*, vol. 344, no 1–2, p. 33–43, 2007.
- [16] A. ALSHAMSAN, "Nanoprecipitation is more efficient than emulsion solvent evaporation method to encapsulate curcubitacin I in PLGA nanoparticles", *Saudi Pharm. J.*, vol. 22, no 3, p. 219–222, 2014.
- [17] L. S. L. FERNANDES, T. S. P. CELLET, E. M. B. D. SOUZA, C. SAYER, A. F. RUBIRA, C. DARIVA, E J. A. OLIVEIRA, "Development of a system by atomization for the formation of polymeric particles in micro and sub-micro scales", *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 451, no 1, p. 1–6, 2014.
- [18] C. E. MORA-HUERTAS, H. FESSI, E A. ELAISSARI, "Influence of process and formulation parameters on the formation of submicron particles by solvent displacement and emulsification-diffusion methods: Critical comparison", *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 163, no 2, p. 90–122, 2011.
- [19] M. E. ALI E A. LAMPRECHT, "Polyethylene glycol as an alternative polymer solvent for nanoparticle preparation", *Int. J. Pharm.*, vol. 456, no 1, p. 135–142, 2013.
- [20] K. GONDA, K. Kadota, Y. Deki, Y. Tozuka, A. Shimosaka, Y. Shirakawa, e J. Hidaka, "Fabrication of composite particles by liquid-liquid interfacial crystallization using an ultrasonic spray nozzle", *Powder Technol.*, vol. 269, p. 401–408, 2015.

Capítulo 8

Diagnóstico do sistema de macrodrenagem do Município de Gurupi – TO: O estado de conservação dos seus corpos hídricos

Pedro Felipe Alves de Oliveira

Ana Flávia Rocha Monteiro

Alesi Teixeira Mendes

Resumo: Com a aprovação da lei 11.445/2007, que ficou conhecida como lei do Saneamento Básico, a titularidade dos serviços de Saneamento foi atribuída aos municípios e determinou a elaboração do Plano de Saneamento Básico (PMSB), contudo cerca de 63% dos municípios ainda não elaboraram este plano para atender a todos os eixos, de forma a deixarem de lado o Plano Municipal de Manejo das Águas Pluviais (PMAP). Este artigo tem como objetivo caracterizar e o estudo das bacias urbanas de drenagem do município de Gurupi-TO, caracterizando os corpos hídricos que compõem esse sistema e a análise do seu estado de conservação, afim de reunir informações importantes que podem auxiliar o poder público local na futura elaboração ou revisão dos PMSB. Foram realizadas visitas em trechos dos córregos urbanos e para a delimitação das Bacias Hidrográficas, foi usado a ferramenta TauDEM ligada ao programa QGIS, sendo possível obter características morfométricas de cada bacia. De forma geral, constatou-se, nas visitas in loco, o processo de assoreamento em diversos trechos, bem como a falta de uma política de manutenção de fundos de vale, onde se apresentam densa vegetação que impede um bom escoamento. Com as características morfométricas, foi possível determinar os coeficientes de forma, compacidade e índice de compacidade que revela qual bacia é mais suscetível a inundação em relação a sua forma.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; morfometria; caracterização de corpos hídricos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ficou por muito tempo sem uma política que tratasse do saneamento básico. Na história do país, o primeiro marco de saneamento foi em 1620, quando começaram obras de um aqueduto para abastecimento da cidade do Rio de Janeiro, até então capital do país (BARROS,2017).

Com o intuito de prover regulações mais abrangentes ao tocante à saúde pública, foi instituído o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) em 1971. Todavia, apenas em 2007 foi sancionada a Lei Federal nº11.445 estabelecendo, dentre outras coisas, o saneamento básico como serviço público necessário para a garantia de saúde pública para a população.

Segundo a lei, saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de quatro serviços essenciais: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais.

Dentre duas atribuições, esta lei atribuiu a titularidade dos serviços de saneamento aos municípios e determinou a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). A Confederação Nacional de Municípios (2020), publicou o decreto 10.203/2020 que regulamenta a lei 11.445/2007, onde que, estabeleceu o prazo para que os municípios elaborem os seus PMSB para dezembro de 2022. E esse tem se mostrado como desafio para os municípios, devido a insuficiência ou incapacidade de administrar este tipo de serviço.

Dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), em 2018, revelaram que cerca de 37% dos municípios possuem o PMSB elaborado. Os municípios sem este plano não poderão receber nenhum recurso do governo federal para as áreas do saneamento básico. E hoje, uma das principais problemáticas enfrentadas pelos municípios brasileiros está relacionada com a drenagem urbana, sendo agravado constantemente pelo processo de urbanização (BATTEMARCO et al, 2018).

Nesse cenário, Gurupi – TO, o terceiro maior município do Estado do Tocantins, desde 2014 possui um Plano Municipal de Saneamento Básico que não atende todos os eixos. O município optou por setorizar o PMSB e atualmente conta com o Plano Municipal de Água e Esgoto (PMAE) e o Plano Municipal de Gestão Integral de Resíduos Sólidos (PMGIRS), não possuindo o Plano Municipal de Manejo das Águas Pluviais (PMAP).

Canholi (2015), descreve que para o bom funcionamento do sistema de micro e macrodrenagem de uma zona urbana, é indispensável o planejamento integrado e abrangente. Contudo, a falta deste planejamento tem ocasionado o estado preocupante das áreas urbanas brasileiras, com a ocorrência de enchentes frequentes. Desta forma, Fontes e Barbosa (2003) afirma que devido o processo de urbanização, ocorrem alterações no uso do solo que causam modificações irreversíveis nos retornos hidrológicos destas áreas, apresentando como resposta notória o aumento no escoamento superficial e a impermeabilidade do meio urbano.

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é caracterizar e realizar o estudo das bacias urbanas de drenagem do município. A caracterização dos corpos hídricos que compõem esse sistema e a análise do seu estado de conservação, uma vez que são informações importantes e que podem auxiliar o poder público local durante a futura elaboração ou revisão dos PMSB.

2. MÉTODOS

O objetivo principal deste artigo envolve o diagnóstico e caracterização do sistema de macrodrenagem, verificando os estados de conservação dos córregos que fazem parte deste sistema. A natureza dessa pesquisa é mista: computacional, com uso do software QGIS e com a realização de visitas in loco.

Detalhando as atividades desenvolvidas para a elaboração deste, estão divididas em três etapas, sendo elas listadas a seguir:

- Caracterização do município e de suas bacias urbanas de drenagem;
- Análise das condições dos cursos d'água que fazem parte do sistema de macrodrenagem;
- Avaliação das condições em que se encontram os cursos d'água.

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO EM ESTUDO

Gurupi está localizado na região sul do Estado do Tocantins, com localização estratégica as margens da BR-153, possui como principais atividades o comércio, pecuária e indústria, ocupando assim a posição de 4º lugar no quesito de maior PIB do estado, de acordo com o IBGE Cidades (2017).

Definido com o bioma cerrado, o município ocupa uma área predominantemente plana com zona urbana de 1.836,091 km² e possui 76.755 habitantes. (IBGE, 2010)

2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM URBANA

A delimitação das bacias hidrográficas do município foi realizada através do programa QGIS, com a ferramenta TauDEM (Terrain Analysis Digital Elevation Models), na versão 5.3. O TauDEM possui funções de apreciação do terreno em dados matriciais para a extração da rede de drenagem (vetoriais) e suas bacias finais (polígonos) dotadas de suas características geométricas (SILVA, 2004).

Assim, para a delimitação da bacia hidrográfica (BH), primeiramente foi realizado a preparação do Modelo Digital de Elevação (MDE), que se trata de um perfil digital do relevo da superfície terrestre que foi obtido a partir de um levantamento topográfico fornecido pela Prefeitura Municipal de Gurupi, com curvas de nível de 1 em 1 metro.

Foi realizada a reprojeção do MDE para o Sistema de Coordenadas Planas. Sendo as coordenadas utilizadas UTM/Sirgas 2000 Zona 22 Sul. Em sequência, já com o MDE na projeção desejada, foram iniciados os processos de delimitação, de forma automática, das bacias.

Quanto as características geométricas da bacia hidrográfica foram determinadas a área, o perímetro, o fator de forma (Kf), o coeficiente de compacidade (Kc), o índice de circularidade (Ic) e a densidade hidrográfica (Dh). Sendo o fator de forma (Kf) calculado através da seguinte equação:

$$Kf = \frac{\bar{L}}{L} \text{ ou } Kf = \frac{A}{L^2} \text{ (Eq. 1)}$$

O Kf é uma relação entre a forma da bacia e a forma de um retângulo, sendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (VILLELA & MATTOS 1975). Onde, \bar{L} é largura média da bacia e L é o comprimento do eixo da bacia.

Já o coeficiente de compacidade (Kc) é determinado por:

$$Kc = \frac{P_{BH}}{P_c} \text{ ou } Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ (Eq. 2)}$$

O Kc é uma relação entre a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia (CARDOSO et al., 2006). Em que refere-se ao perímetro da bacia e Pc é o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia; ou ainda P é o perímetro da bacia e A é a área da bacia.

O índice de circularidade procura estabelecer relação entre a forma da BH e a sua proximidade ao formato de um círculo (CARDOSO et al., 2006), semelhante ao fator de forma. Esse índice foi calculado por meio da Equação 3.

$$Ic = \frac{12,57 \times A}{p^2} \text{ (Eq. 3)}$$

Sabendo que A é a área da bacia e P o seu perímetro.

A densidade hidrográfica (Dh) é o último parâmetro das características geométricas. Esse índice permite comparar a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão, por exemplo a área de uma BH (CRHISTOFOLETTI, 1969). Segundo Teodoro et al. (2007), a densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de cursos d'água (N) e a área da BH. A Dh é calculada da seguinte forma:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (\text{Eq. 4})$$

2.3. DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

Para a realização do diagnóstico do estado de conservação dos corpos hídricos que compõem o sistema de macrodrenagem municipal, foram feitas visitas a estes cursos d'água, com o registro fotográfico e coleta das coordenadas geográficas.

As visitas in loco foram realizadas no mês de maio de 2020, período de estiagem no estado. Esse período seco se estende do mês de maio a setembro, no qual os meses de julho e agosto apresentam os menores índices de chuva do ano. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 2020, o mês de maio possui em média uma precipitação de 30 mm, sendo o 4º mês no quesito de menores índices de chuva.

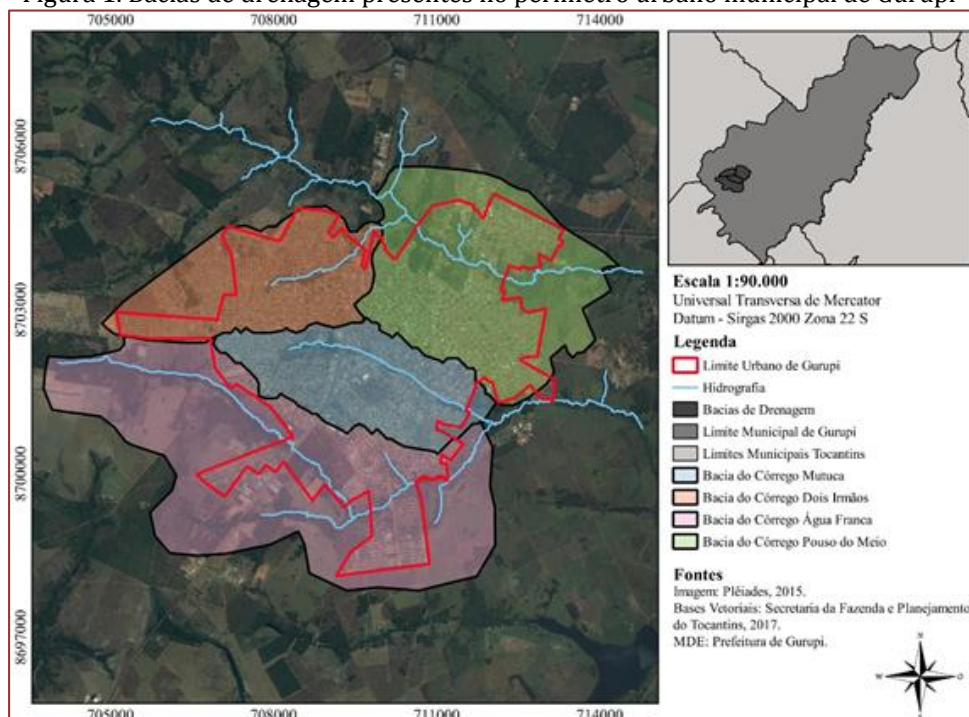
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS DE DRENAGEM URBANA

A cidade de Gurupi é drenada por uma série de corpos hídricos que recortam o seu espaço urbano. Na região norte, os córregos Pouso do Meio e Dois Irmãos se configuram como os principais corpos hídricos receptores dos efluentes pluviais, enquanto na região central e sul as águas de chuva são drenadas em direção aos córregos Mutuca e Água Franca.

A Figura 1, abaixo, apresenta o mapa com bacias urbanas de drenagem da cidade de Gurupi.

Figura 1. Bacias de drenagem presentes no perímetro urbano municipal de Gurupi



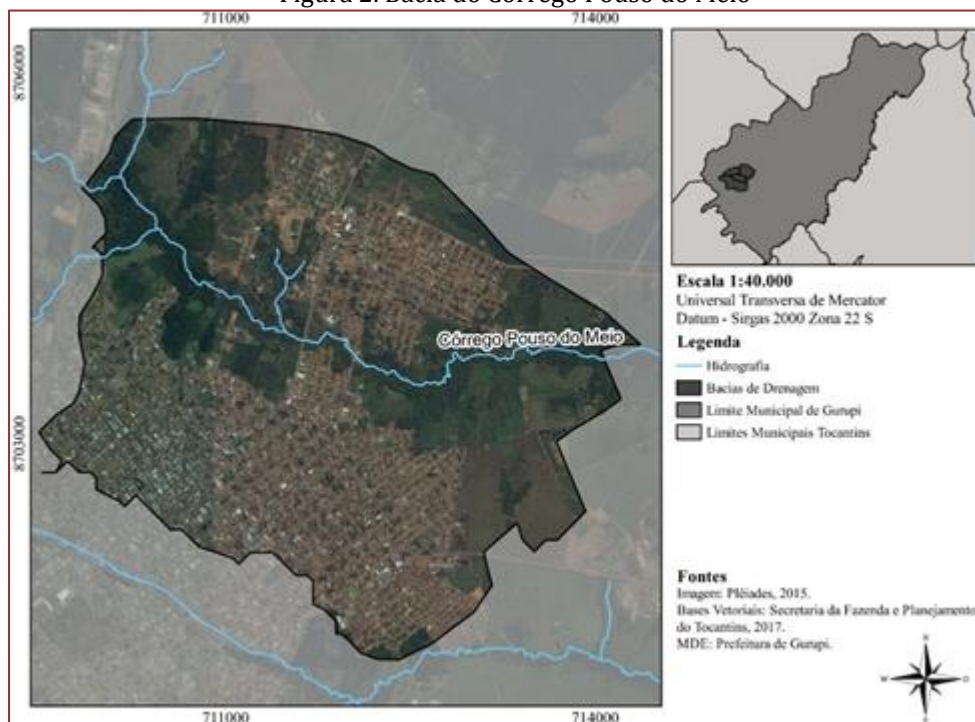
Com relação aos resultados das características morfométricas das bacias, podemos observa-las conforme expresso na tabela 1.

Tabela 1. Características Geométricas das Bacias

| Parâmetros | Mutuca | Dois Irmãos | Pouso do Meio | Água Franca |
|----------------------------------|--------|-------------|---------------|-------------|
| Área (km ²) | 7,17 | 8,07 | 13,36 | 21,18 |
| Área (ha) | 717,00 | 807,00 | 1336,00 | 2118,00 |
| Perímetro (km) | 13,54 | 13,49 | 16,61 | 24,67 |
| Talvegue Principal (km) | 4,54 | 3,25 | 8,94 | 18,34 |
| Coefficiente de Forma (Kf) | 0,35 | 0,76 | 0,17 | 0,06 |
| Coefficiente de Compacidade (Kc) | 1,42 | 1,33 | 1,27 | 1,50 |
| Índice de Circularidade (Ic) | 0,49 | 0,56 | 0,61 | 0,44 |

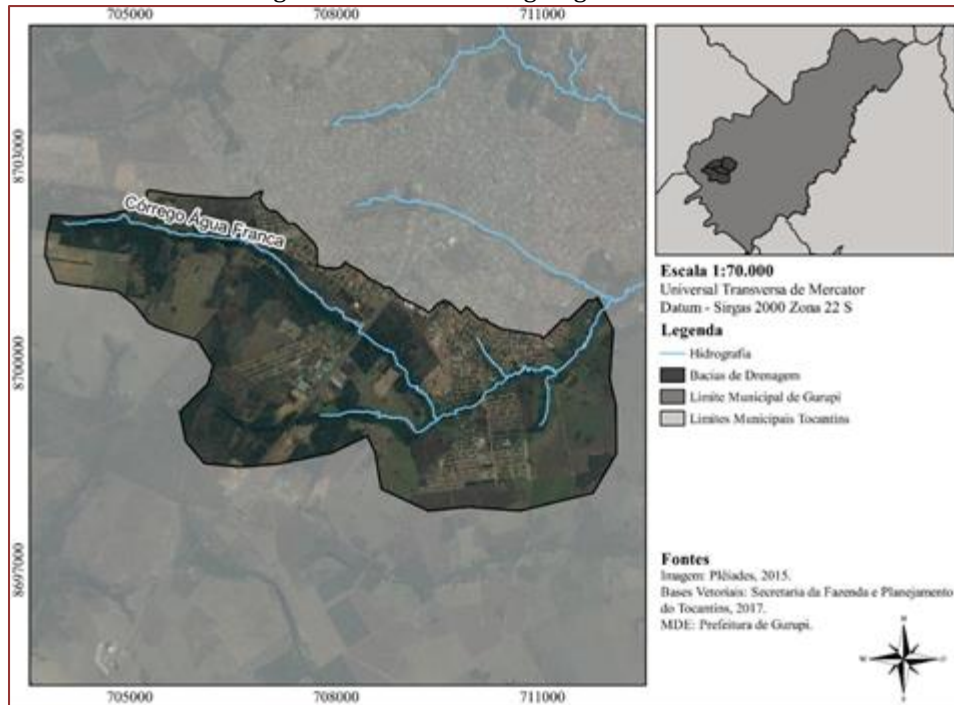
O Coeficiente de Compacidade (Kc) está relacionado com o perímetro da bacia e ao perímetro de um círculo de mesma área, é um número adimensional que varia com a forma da bacia, sem depender de seu tamanho, desta forma, quando maior o coeficiente, mais irregular será a bacia. Assim, quanto mais o Kc se aproximar da unidade, mais circular será a bacia e conseqüentemente estará mais sujeita a enchentes. Deste modo, o córrego Pouso do Meio apresenta-se com coeficiente com maior proximidade de 1, sendo o que possui uma forma que se assemelha melhor ao círculo, conforme pode ser verificado na figura 2.

Figura 2. Bacia do Córrego Pouso do Meio



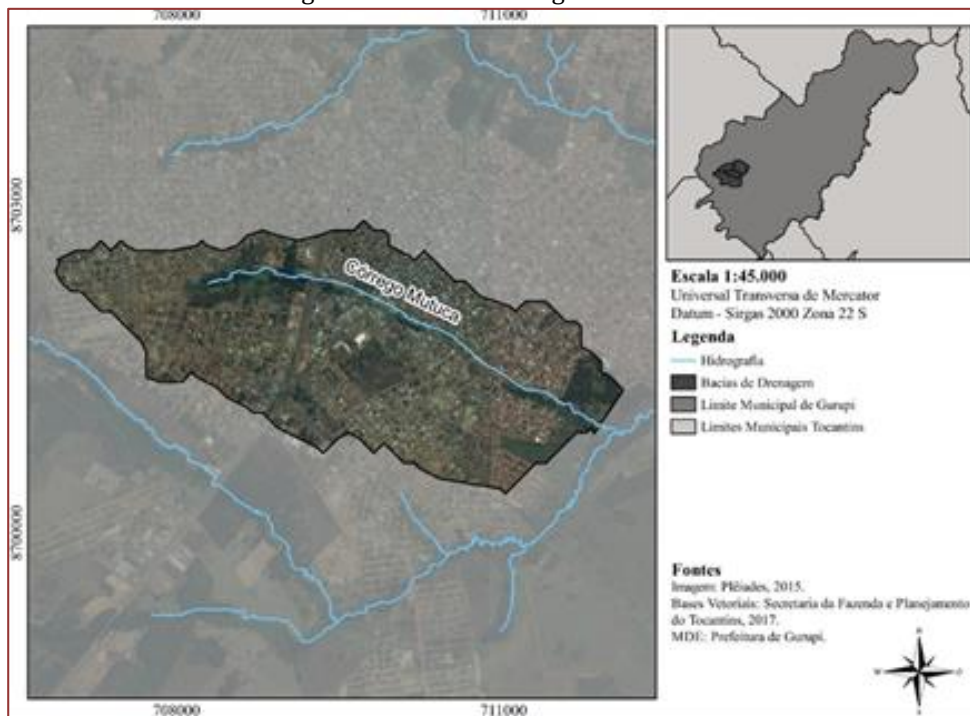
Para o coeficiente de forma (Kf), tem-se o quanto uma bacia está mais sujeita a enchentes que outra, assim vê-se que, se o Kf for menor para uma bacia, indica que ela será menos sujeita a enchentes em comparação com outra. Desta forma, podemos verificar que as bacias do córrego Água Franca (figura 3), Pouso do Meio e Mutuca, são menos sujeitas a enchentes que a bacia do córrego Dois Irmãos (figura 3).

Figura 3. Bacia do Córrego Água Franca



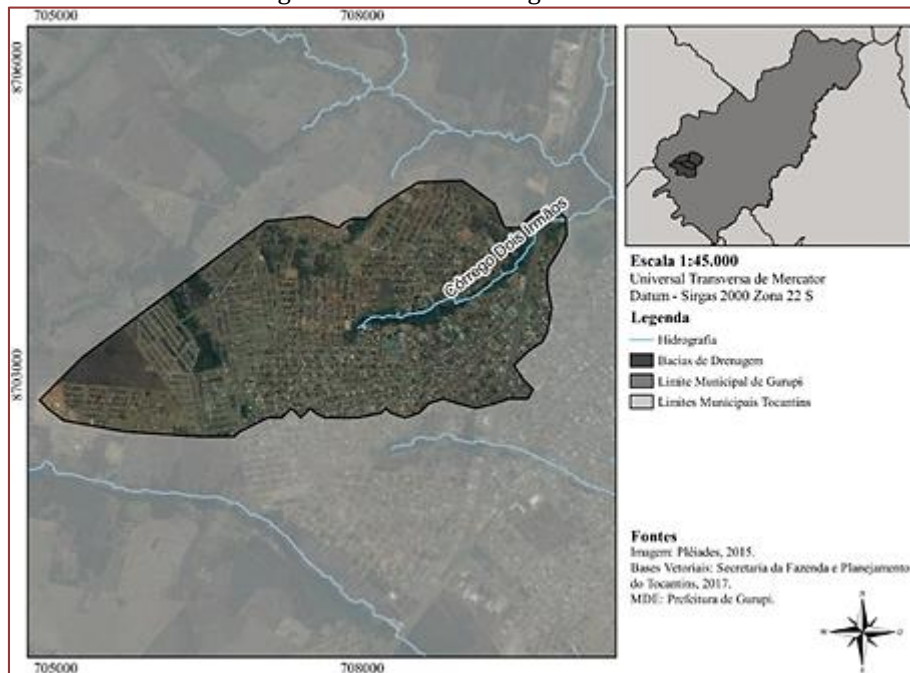
O índice de Circularidade (I_c) determina que os valores abaixo de 0,51 tendem a bacias mais alongadas favorecendo assim o processo de escoamento. Por sua vez as bacias dos córregos Mutuca (figura 5) e Água Franca possuem formas mais alongadas.

Figura 4. Bacia do Córrego Mutuca



Sendo assim, os córregos Dois Irmãos e Pouso do Meio tem valores acima de 0,51, aproximando-se da área de um círculo.

Figura 5. Bacia do Córrego Dois Irmãos



4. DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

▪ Córrego Pouso do Meio

A bacia hidrográfica do Córrego Pouso do Meio se dispõe na região nordeste do município. Esse córrego é conhecido popularmente por transbordar sucessivas vezes em períodos chuvosos, em especial no segmento da Avenida Pernambuco ($11^{\circ}43'13''$ S e $49^{\circ}03'16''$ W), como registrado na figura 6- A e C. Esse fenômeno ocorre por uma série de agentes, sendo dois deles o crescimento de vegetação no leito do córrego e o acúmulo de resíduos. Foi possível verificar também a presença de edificações próximas as margens, sem o devido zelo à área de domínio do curso d'água.

Já no trecho que cruza a Avenida Goiás ($11^{\circ}43'07''$ S $49^{\circ}03'29''$ W), a problemática que atua sob o córrego é o carreamento de material sedimentar para seu leito, influenciando diretamente nas constantes enchentes em seu curso, conforme pode se identificar na figura 6- B.

Figura 6. Córrego Pouso do Meio



Fonte: Copilação dos autores

- Córrego Dois Irmãos

A Bacia do Córrego Dois Irmãos abrange a região oeste da cidade e nela pôde ser constatado a supressão da mata ciliar com edificações significativamente próximas à margem do córrego no trecho (figura 7- A e B). Como consequência, na área de domínio do córrego dois irmãos, ocorreram processos erosivos e que puderam ser observados ao passar na Rua Dez e estão expostos na imagem seguinte (figura 7- C), sendo este ponto localizado nas coordenadas 11°43'08"S 49°04'52"W.

Figura 7. Córrego Dois Irmãos.



Fonte: Os autores.

- Córrego Mutuca

Ao visitar trechos do Córrego Mutuca, foi possível observar a nítida ausência de manutenção periódica e limpeza do fundo do vale, como está exposta na imagem a seguir (figura 8). Essa vegetação obstrui e interfere na velocidade de escoamento da água, aumentando a área molhada e, por conseguinte, torna-o mais suscetível a transbordamentos. Por cortar a região central da cidade, parte do córrego foi canalizado com uso da técnica de gabiões, de forma que, para seu bom desempenho, deve-se haver uma política de manutenção no trecho canalizado. A imagem retrata o segmento do córrego, entre as avenidas Paraíba e Ceará na proximidade do Terminal Rodoviário de Gurupi, com coordenadas geográficas 11°44'14" S 49°04'08" W.

Figura 8: Córrego Mutuca coberto pela vegetação



Fonte: Os autores.

▪ Córrego Água Franca

A bacia hidrográfica do Córrego Água Franca se dispõe na região sul do município que, apesar de ocupar grande área territorial, encontra-se em uma região pouco populosa. Contudo, constatou-se a presença de lixo disposto nas margens, bem como o início do processo de assoreamento e coloração da água turva, conforme registrado nas imagens seguintes (figuras 9 - A e B), com sua localização em: 11°45'26" S 49°04'17" W.

Figura 9. Córrego Água Franca



Fonte: Os autores.

5. CONCLUSÃO

Com o uso do TauDEM, todo o processo de delimitação automático das bacias se tornou mais simples, de forma que o sistema é bastante intuitivo e didático, bem como estar no idioma Português.

Com os cálculos de determinação das características morfométricas das Bacias, foi possível identificar que a Bacia do córrego Dois Irmãos é mais suscetível a inundações em relação as outras bacias estudadas, por ter um coeficiente de forma (Kf) de 0,76, sendo o maior entre as demais bacias. Analisando o coeficiente de compacidade (Kc) temos que a Bacia do córrego Pouso do Meio possui uma forma mais circular, sendo nesse aspecto mais sujeita a inundações com Kc=1,26.

Para o Índice de Compacidade (Ic) foi verificado que a Bacia do córrego Mutuca possui uma forma mais alongada, favorecendo o escoamento, tornando-se tecnicamente o córrego menos sujeito a ter enchentes.

Entretanto, o estudo realizado em campo, foi possível identificar uma série de fatores que agem na forma de impedir o bom escoamento da água. Fatores estes que podem ser solucionados com manutenções periódicas simples de limpeza do fundo do vale, retirando toda a vegetação que impede o bom escoamento da água.

Estas manutenções periódicas devem se estender, para os demais córregos, visto que no Água Franca e Pouso do Meio foi identificado o processo de assoreamento do leito. No córrego Dois Irmãos o problema incide no não cumprimento do distanciamento de uma construção para a margens do córrego, podendo ser observado casas próximas, bem como a supressão da mata ciliar.

Contudo, é possível afirmar que com a adoção de uma política de manutenção de fundo de vale eficiente, os córregos em estudo apresentariam significante melhora em suas condições ambientais, bem como visuais.

REFERÊNCIAS

- [1] BARROS, Rodrigo. Conheça a história do saneamento básico e tratamento de água e esgoto. Disponível em: <<https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>>. Acesso em: 08 Abr. 2020.
- [2] BATTEMARCO, Bruna Peres et al. Sistemas de Espaços Livres e Drenagem Urbana: Um Exemplo de Integração Entre o Manejo de Águas Pluviais e o Planejamento Urbano. Paisagem Ambiente: Ensaios. São Paulo, n.42, pág. 55-74, jul.-dez. 2018.
- [3] BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 10 Mar. 2020.
- [4] CANHOLI, Aluísio. Drenagem urbana e controle de enchentes. Ed. 2. Oficina de textos, 2015.
- [5] CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- [6] CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Notícia Geomorfológica, v.18, n.9, p.35-64, 1969.
- [7] Conquista Municipalista: prazo para Planos Municipais de Saneamento será dezembro de 2022. Confederação Nacional De Municípios, 23 de janeiro de 2020. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/conquista-cnm-prazo-para-planos-municipais-de-saneamento-sera-dezembro-de-2022>>.
- [8] FONTES, A.R.M.; BARBASSA, A.P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, n. 2, p.137-147, 2003. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44036/23287>>. Acessado em: 20 mar. 2020.
- [9] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/gurupi/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- [10] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/gurupi/panorama>>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- [11] INTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/basedados/palmas.html>>. Acesso em: 11 mar. 2020.
- [12] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB, mais saúde, qualidade de vida e cidadania. Disponível em: <<https://www.mdr.gov.br/saneamento/plansab>>. Acesso em: 08 Abr. 2020.
- [13] Silva, B. S. G., 2004. Delimitação automática de bacias usando o programa TAUDEM/MAPWINDO. Nota Técnica – Ministério da Ciência e Tecnologia, INPE, São José dos Campos.
- [14] TEODORO, V. L. I.; Teixeira, D.; Costa, D. J. L.; Fuller, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista Uniara, v.20, p.137-157, 2007.
- [15] VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

Capítulo 9

Estudo da conformidade dos parâmetros adotados na escolha do tipo de fundação das obras de Uruaçu - GO

Poliana Braz de Oliveira

Jéssica Azevedo Coelho

Resumo: Desde o início das civilizações o homem demonstrou uma necessidade de conhecer os aspectos fundamentais do solo, bem como, fatores ligados a resistência e a estabilidade. Para isto, desenvolveu técnicas construtivas, a fim de evitar situações de risco, visto que, o solo possui uma importante interação com a fundação. Sabendo que na prática raramente se encontra um solo puro, pois trata-se de um material heterogêneo, cujas características variam de acordo com o local e profundidades a serem analisados, o conhecimento destas propriedades se torna necessário, para compreender o comportamento do solo e assim, auxiliar na escolha do tipo de fundação. Em virtude disto, o presente estudo consiste em análise dos parâmetros utilizados pelos profissionais da cidade de Uruaçu-GO, para a escolha do tipo de fundação das suas obras. Tendo, como etapas a pesquisa bibliográfica com o intuito de averiguar os dados relevantes ao tema, prescritos por normas e literaturas, seguidos da aplicação de questionário aos engenheiros civis da cidade, verificando os elementos mais relevantes na escolha das fundações. Com isso, obteve-se um perfil das obras, das quais os engenheiros mais trabalham no município, permitindo uma caracterização das fundações, onde, constatou-se que todas as obras possuem projetos de fundações, porém menos da metade realiza a investigação do subsolo, mesmo o considerando como o principal parâmetro na definição da fundação. Percebeu-se então que, no universo pesquisado, a escolha do tipo de fundação ainda não possui um caráter científico, prevalecendo o empirismo. Portanto, este estudo vem corroborar com a importância de se conscientizar os engenheiros civis, de que a investigação do subsolo é um artifício necessário a etapa de escolha e execução das fundações, evitando imprevistos, gastos desnecessários, e complicações na segurança das edificações.

Palavras-chave: Solo, Fundação, Investigação, Uruaçu-GO.

1. INTRODUÇÃO

O solo possui uma importante interação com a fundação. Visto que, as fundações descarregam as cargas no solo, que por sua vez apresentam uma resposta a estas solicitações, havendo então uma alteração das tensões efetivas, ocasionando deformações. E se tratando de obras civis, este comportamento interfere, tanto na fase de elaboração como na execução de fundações.

No Brasil os custos envolvidos na investigação do subsolo, através de sondagens de reconhecimento variam em torno de 0,2% a 0,5% do valor total da obra, como afirma Schnaid (2000). Em relação aos custos totais da etapa de fundação, Junior (2007) especifica, que correspondem a cerca de 3% a 7% do custo total da obra, por essa razão o processo de execução de fundações não pode ser considerado à etapa mais cara da edificação.

O que chamamos de fundação trata-se do elemento estrutural responsável por transmitir as cargas aplicadas para o solo. Desta maneira, o solo também pode ser considerado um elemento de fundação, pois seu comportamento quando sujeito a carregamentos, interfere no desempenho da fundação (ABRAHÃO E VELLOSO, 1998).

Segundo Bastos (2016), o solo na maioria das vezes possui uma resistência inferior à do concreto do pilar. Por este motivo, torna-se necessário a existência de um elemento estrutural, com a finalidade de transmitir as ações ao solo.

As fundações devem ser projetadas e executadas a fim de assegurar condições mínimas, por meio das cargas solicitantes (ALONSO, 2011). Sendo, condições como:

- **segurança:** para atender aos coeficientes de segurança contra a ruptura, tanto a resistência dos elementos estruturais, como também do solo;
- **funcionalidade:** assegurando deslocamentos compatíveis com o tipo e finalidade a que se destina, como por exemplo, os recalques devem ser previstos na fase de projeto;
- **durabilidade:** garantir que resista a uma vida útil no mínimo igual ao da estrutura.

Diante disto, Junior (2007) traz que os custos relacionados a fundações correspondem a cerca de 3% a 7% do custo total da obra, não sendo considerada a etapa mais cara desta. No entanto, erros grosseiros em projetos podem alavancar consideravelmente estes custos, devido a necessidade de compensar a estrutura através de reforços, ou seja, quanto mais cedo forem executadas as correções, serão mais fáceis de executar, mais duráveis e mais em conta.

A escolha do tipo de fundação a ser considerada, possui algumas variáveis importantíssimas. Visto que, é preciso analisar os parâmetros técnicos que condicionam esta escolha, e para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2003), os itens a serem considerados são quanto a:

- **Topografia da área**
- informações sobre taludes e encostas no terreno, ou que possam atingir o terreno;
- necessidade de efetuar cortes e aterros;
- dados sobre erosões, ocorrência de solos moles na superfície;
- presença de limitações, como aterros com lixo ou matacões.
- **Características do maciço de solo**
- variabilidade das camadas e a profundidade de cada uma delas;
- existência de camadas resistentes ou adensáveis;
- compressibilidade e resistência do solos;
- a posição do nível de água.

- **Dados da estrutura**

- a arquitetura, o tipo e o uso da estrutura, as cargas solicitantes, e se há subsolo.

- **Dados sobre as construções vizinhas**

- o tipo de estrutura e das fundações vizinhas;
- existência de subsolo;
- possíveis consequências de escavações e vibrações provocadas pela nova obra;
- danos já existentes.

- **Aspectos econômicos**

- prazos e custos diretos para a e execução dos serviços. Pois, há soluções que embora seja mais difícil apresente um menor tempo de execução nos serviços.

Já Abrahão e Velloso (1998), afirmam que após definidos o tipo e a dimensão da estrutura, as principais ressalvas de projeto são quanto:

- a condições geológicas-geotécnicas do solo, tendo uma caracterização inicial do solo, feita pela análise tátil visual;
- com relação a natureza do solo, pois por exemplo se for muito colapsivo ou expansivo vão exigir ensaios específicos;
- a posição do nível de água, verificando suas modificações durante a construção;
- características de materiais com destaque na sua deformabilidade e resistência, principalmente quando submetidos a mudanças de cargas atuantes;
- ensaios em laboratórios para verificar o carregamento aplicado, as deformações de cada material e as diferentes cargas de ruptura.

Para Velloso e Lopes (2010) um fator importante na fase de projetos de fundações é quanto as ações, pois, a parte de superestrutura já foi dimensionado e repassado ao projetista de fundações. Competindo este, a se atentar se as cargas utilizadas são características ou se já foram majoradas por fatores de cargas.

As fundações podem ser classificadas entre rasas e profundas. As fundações superficiais, conhecidas também como rasas ou diretas. São aquelas caracterizadas por transmitir as cargas da superestrutura para o solo, através de pressões distribuídas sob a base da fundação. Enquanto as fundações profundas podem ser entendidas como sendo aquelas, cuja carga é transmitida ao solo através da base com a resistência de ponta, pela sua superfície lateral por meio da resistência do fuste, ou simplesmente por combinação das duas (ABNT, 2010).

A escolha entre um tipo ou outro de fundação leva em consideração basicamente a carga do projeto, a capacidade de carga do solo e a forma com que essa distribuição acontecerá no terreno. A tendência é que quanto mais rasa é a solução adotada mais barata ela será, no entanto, Knappett e Craig (2015) alertam para algumas situações que fazem com que a escolha por fundações superficiais deixa de ser econômica e prática. Tais como:

- Quando as cargas aplicadas as fundações são grandes;
- Quando as camadas de solo superficiais suportam pouca capacidade de carga, isto é pouca resistência;
- Quando as camadas de solo estiverem muito inclinadas;
- Para situações em que os deslocamentos devem ser mínimos;
- Em locais sujeitos a ação das marés e outros agentes, que possam vir a causar danos na fundação.

Desta forma, levando-se em consideração a relevância de uma investigação do subsolo, e dos parâmetros auxiliares na definição da escolha do tipo de fundação, este trabalho buscou analisar se os parâmetros utilizados pelos profissionais de Uruaçu-GO, para a escolha da fundação das obras no município, têm atendido ao caráter técnico necessário.

Para tanto foi necessário realizar levantamento dos parâmetros relevantes para a investigação do subsolo e escolha da fundação, prescritos pelas normas e pela literatura, por meio de revisão bibliográfica. Depois verificou-se, por meio da aplicação de questionário, quais os parâmetros que mais têm influenciado a escolha das fundações nas obras de Uruaçu-GO. Por fim buscou-se analisar de acordo com as respostas do questionário, como os engenheiros civis têm realizado essas escolhas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da presente pesquisa utilizou-se do método hipotético-dedutivo, pois, através da problemática levantada acerca dos parâmetros envolvidos na escolha do tipo de fundações das obras de Uruaçu-GO, buscou-se encontrar se possuía ou não caráter científico. Baseou-se numa pesquisa descritiva e explicativa, isto pois, foram investigados os critérios utilizados na escolha do tipo de fundação, descrevendo e analisando os processos envolvidos na etapa em questão.

A priori realizou-se uma revisão bibliográfica, averiguando os dados relevantes ao tema, que são prescritos pelas normas e pelas literaturas. Na segunda etapa, o estudo consistiu em um caráter quantitativo, pois, foram aplicados questionário à uma população específica, isto é, com os engenheiros civis que há anos trabalham na cidade de Uruaçu-GO.

Conforme dados do CREA-GO, até setembro de 2018, consta-se o registro de 77 engenheiros civis vinculados a sede de Uruaçu-GO. A partir destas informações empregou-se uma equação matemática para a obtenção de uma amostra necessária para a validação da coleta de dados, em que a população é finita:

$$n = \frac{Z^2 x P x Q x N}{e^2 x (N-1) + Z^2 x P x Q} \quad (1)$$

Ao nível de confiança da amostra (Z), adotou-se para cálculo 95% de confiança, igualmente utilizou-se o mesmo valor para a quantidade de acerto esperado (P), admitindo-se um valor de 5% para o erro esperado (Q), para uma população (N) de 77 engenheiros civis da cidade de Uruaçu-GO, com um nível de precisão (e) de 5%. Desta forma, obteve-se uma amostra de população finita de 37 engenheiros civis a serem pesquisados.

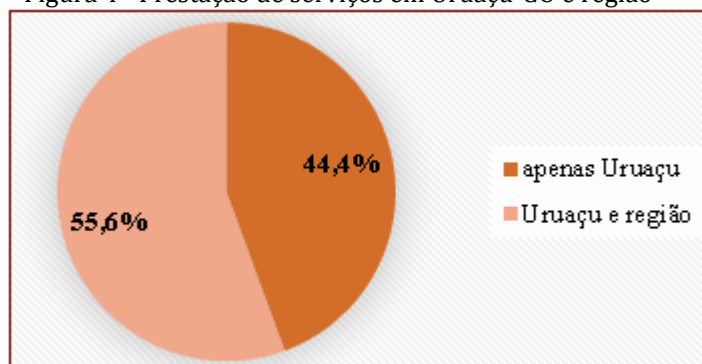
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Perante a problemática levantada, foram aplicados questionário a uma população específica da cidade de Uruaçu-GO, ou seja, engenheiros civis que atuam na cidade e na região, e que possuem endereço registrado no CREA da cidade de Uruaçu-GO. Por isso, o questionário (Apêndice A), foi aplicado como um instrumento na identificação dos parâmetros adotados na escolha do tipo de fundação das obras da cidade, averiguando se as condições citadas em normas e literatura de fato são empregadas na íntegra.

Partiu-se da tabulação dos 37 questionários aplicados à engenheiros civis da cidade de Uruaçu-GO, com o intuito reestruturar os dados e discorrer sobre os resultados. Em função disto, o questionário foi dividido em três partes: o enquadramento profissional, a caracterização das obras da cidade de Uruaçu-GO e, a caracterização das fundações da cidade de Uruaçu-GO.

No enquadramento profissional buscou-se a identificação dos engenheiros civis, bem como, informações que poderiam vir a filtrar esses indivíduos perante as demais questões. Constatou-se por média dos engenheiros pesquisados, que aqueles que trabalham na área da construção civil, exercem a profissão há aproximadamente 6,12 anos. Quanto a prestação de serviços, muitos deles trabalham em Uruaçu-GO e região, sendo 44,4% apenas na cidade de Uruaçu-GO e 55,6% prestam serviços tanto na cidade como também na região do norte goiano. Como indicado na figura 1.

Figura 4 - Prestação de serviços em Uruaçu-GO e região



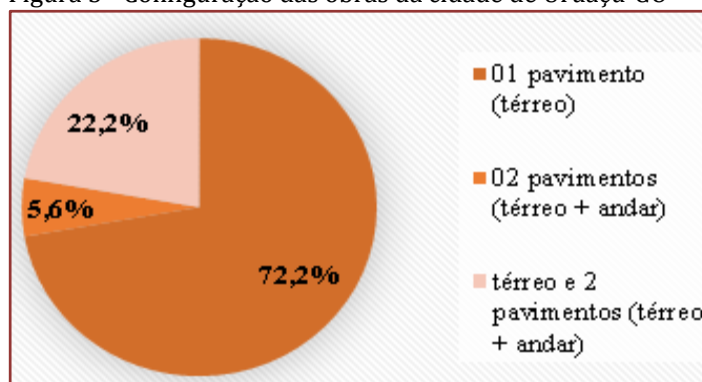
Fonte: As autoras.

Destes serviços prestados na cidade de Uruaçu-GO, foi possível estabelecer uma média aproximada de obras, que estes engenheiros já acompanharam como responsável habilitado, ao longo do tempo, chegando a média de 67,89 obras por engenheiro civil, valor bem significativo em relação à média de 6, 12 anos de profissão. Com isso, iniciou-se a parte de caracterização das obras, para compreender o arranjo destas no que se refere a configuração mais adotada, finalidade, porte, padrão financeiro, que se é mais trabalhado na cidade.

Em termos de configuração das obras da cidade de Uruaçu-GO, dos engenheiros pesquisados nenhum deles trabalham com obras que envolvam a construção de subsolo e construções com mais de dois pavimentos. Sendo que, 72,2% trabalham com a configuração de um só pavimento (térreo), e 5,6% possuem a maioria das obras com a configuração de dois pavimentos (térreo + andar).

Embora no questionário não tivesse a opção combinada de respostas, a pergunta em questão tratava-se de múltiplas escolhas, por isso, 22,2% disseram que suas obras caracterizam tanto em um pavimento (térreo), quanto em obras com dois pavimentos (térreo + andar). Como mostrado na figura 2.

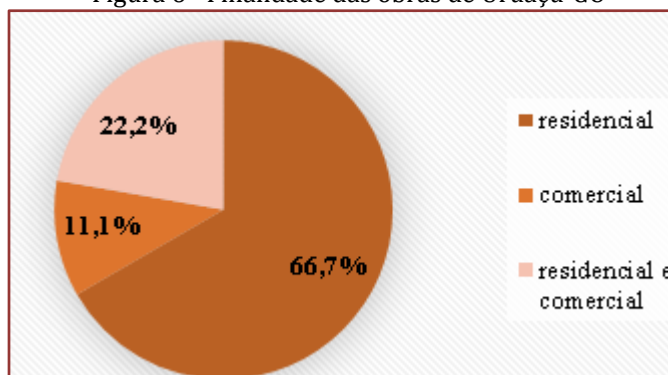
Figura 5 - Configuração das obras da cidade de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

A respeito da finalidade destas obras, nenhum dos engenheiros pesquisados trabalham com obras de caráter industrial, entretanto cerca de 66,7% trabalham com obras residenciais, 11,1% com obras comerciais. Pelo fato, desta questão também conter opções, obteve-se que 22,2% na maioria das vezes trabalham tanto com obras residenciais como obras comerciais. Como disposto na figura 3.

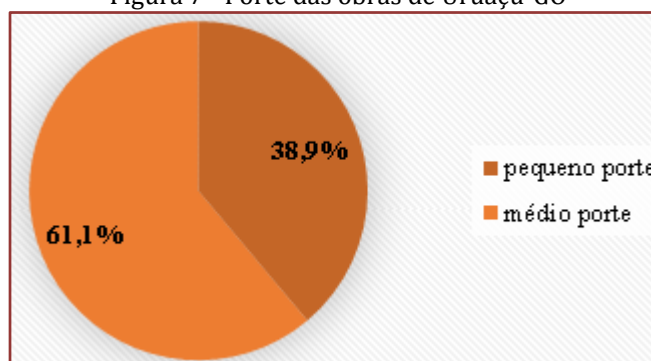
Figura 6 - Finalidade das obras de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

No porte das obras da cidade de Uruaçu-GO, 61,1% dos engenheiros civis declararam que trabalham habitualmente com obras consideradas de médio porte, e 38,9% com construções de pequeno porte. E nenhum dos engenheiros pesquisados consideraram que trabalham com obras de grande porte na cidade. Como pode ser visto, no gráfico da figura 4.

Figura 7 - Porte das obras de Uruaçu-GO

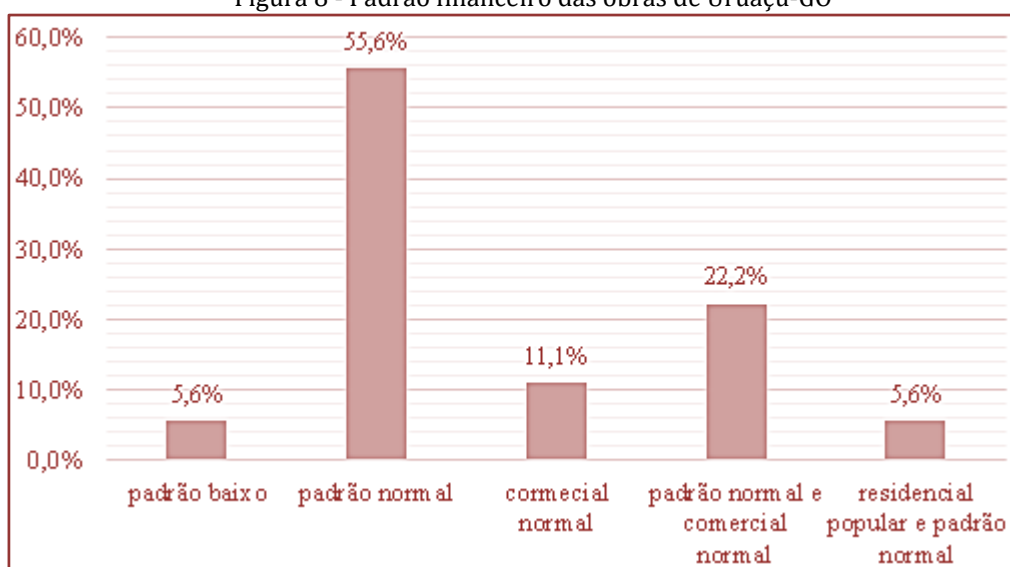


Fonte: As autoras.

O Custo Unitário Básico (CUB) traz alguns itens em torno dos padrões financeiros, a serem considerados numa obra. Isto, pois organiza-se em projetos padronizados. Baseando nisto, questionou-se o padrão financeiro que compreendem as obras que habitualmente trabalham, onde para os engenheiros entrevistados nenhum deles consideraram que suas obras se enquadram nos seguintes padrões, padrão alto, comercial alto, residência popular, galpão industrial.

Ainda assim, 55,6% alegam que as obras das quais são os responsáveis técnicos, permanecem dentro do padrão normal, 11,1% com o comercial normal, 5,6% com o padrão baixo. Em vista da questão, possibilitar escolhas originou-se respostas, como, 22,2% trabalham geralmente com dois padrões de construções, padrão normal e comercial normal e, 5,6% atuam em construções tanto no padrão residencial popular quanto padrão normal. De acordo, com a figura 5.

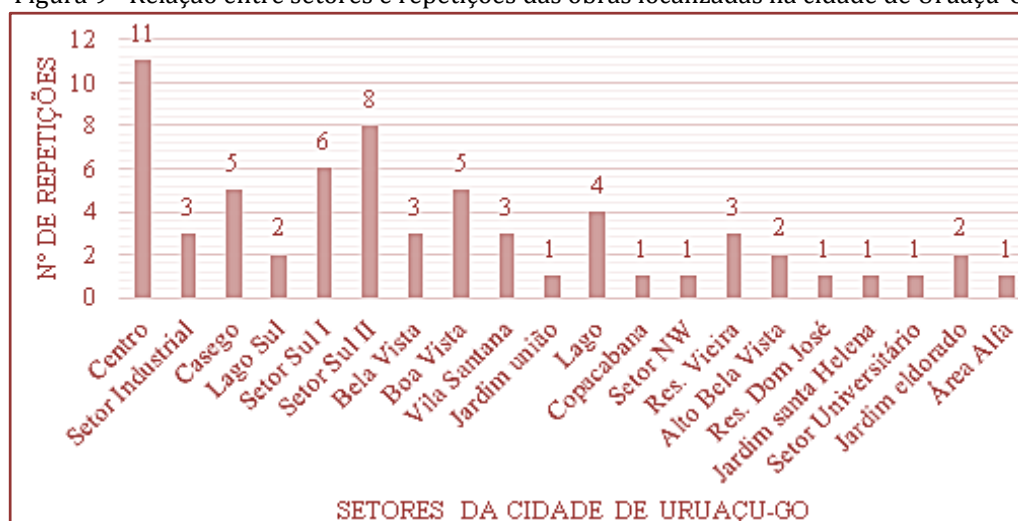
Figura 8 - Padrão financeiro das obras de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

Na caracterização das obras de Uruaçu-GO, abordou-se os setores que estão localizadas as construções, pelas quais enquanto engenheiros foram ou são os responsáveis. Com isto, no gráfico da figura 6, percebe-se os setores citados pelos engenheiros pesquisados em relação da quantidade de vezes que foram repetidos pelos demais. No qual, destaca-se a região do Centro com o maior número de repetições por parte dos investigados, seguida do Setor Sul II, Setor Sul I, e demais. Evidenciando, a problemática que dentre os setores existentes da cidade de Uruaçu-GO, somente 20 foram citados durante a aplicação do questionário.

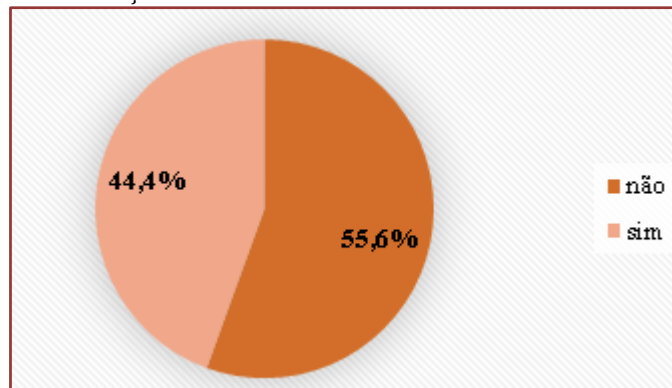
Figura 9 - Relação entre setores e repetições das obras localizadas na cidade de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

Mediante a localização das obras, questionou-se aos engenheiros civis se no decorrer da construção de cada edificação, foi possível observar alguma semelhança do solo, apesar das diferenças de localidade. Para 44,4% houve essa semelhança no solo, e 55,6% disseram que não, como demonstrado na figura 7.

Figura 10 - Semelhança do solo nas diferentes localidades da cidade de Uruaçu-GO



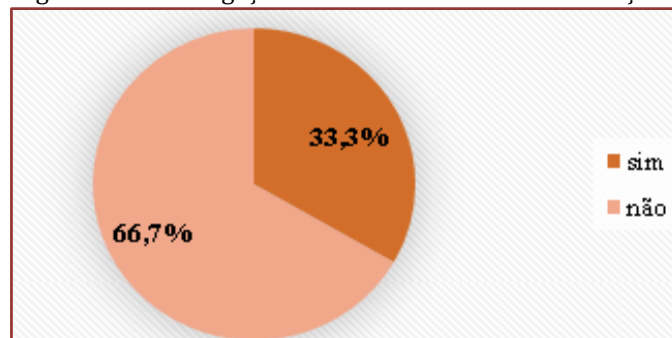
Fonte: As autoras.

Para estes, 44,4% que afirmaram a existêcia de semelhança do solo na cidade de Uruaçu-GO, mesmo levando em consideraçaõ os diferentes locais, questionou-se a forma em que foi verificada essa semelhança. Por unanimidade dos examinados obteve-se como resposta a análise tátil-visual, como instrumento de reconhecimento do solo através da observaçaõ e testes simples de campo.

Dispondo da informaçaõ que todas as obras possuam projeto de fundaçaõs, indagou-se a populaçaõ específica de engenheiros civis sobre a ocorrêcia de algum tipo de investigaçaõ do subsolo, que serve como mecanismo auxiliador na elaboraçaõ de um projeto que atenda aos três requisitos básicos para um bom projeto de fundaçaõs, que ele seja seguro, rápido e econômico. Em resposta, obteve-se que para 33,3% dos entrevistados houve a investigaçaõ do subsolo das obras em questã, enquanto, 66,7% disseram que não aconteceu a verificaçaõ. Como exemplificado na figura 8.

Para os 33,3% que afirmaram que ocorreu a investigaçaõ do subsolo, perguntou-se qual o tipo de investigaçaõ foi utilizado nas obras. Entã, como resultado obteve-se que a investigaçaõ ocorreu através de sondagens à percussã com SPT e sondagens a trado. Porém, evidenciando que tais investigaçaõs aconteceram para obras específicas, não sendo algo generalizado a todas as obras das quais foram responsáveis.

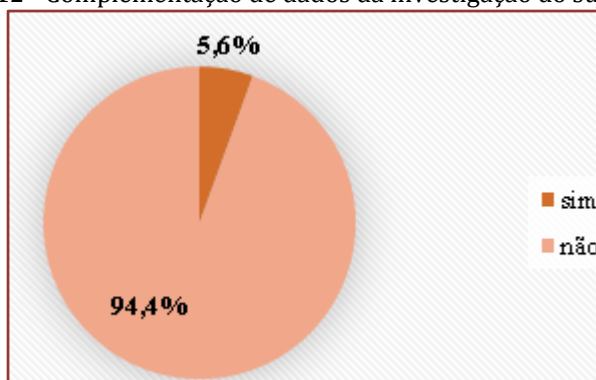
Figura 11 - Investigaçaõ do subsolo da cidade de Uruaçu-GO



Fontes: As autoras.

Em alguns casos a investigaçaõ preliminar do subsolo não é considerada o suficiente para a escolha do tipo de fundaçaõ e seu dimensionamento, sendo entã, necessário complementar estes estudos na intençaõ de reduzir os imprevistos. Em vista disso, perguntou-se aos engenheiros se alguma obra necessitou ser complementada a investigaçaõ por estudos geológicos. E segundo, 94,4% não houve a necessidade de se complementar, e somente 5,6% disseram que sim, foi necessário complementar os estudos geológicos. Conforme figura 9.

Figura 12 - Complementação de dados da investigação do subsolo



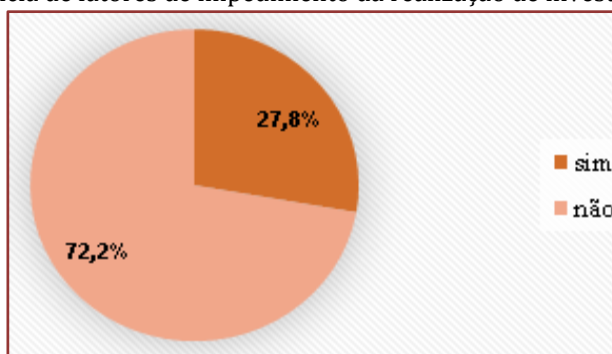
Fonte: As autoras.

Vale ressaltar, que esses 5,6% não haviam realizado uma investigação preliminar, conforme perguntado no item anterior. Deixando claro que a falta de investigação na fase inicial traz imprevistos que interferem no processo construtivo. E quando perguntado o motivo de ter que se complementar essa investigação, a resposta foi a seguinte “solo com grande quantidade de silte, não dava compactação”. Isto se justifica por que, o silte apresenta baixa plasticidade, coesão e capacidade de absorção, fazendo com que durante a compactação o mesmo venha a apresentar fissuras devido à falta de plasticidade.

Sabendo da importância da investigação do subsolo, averiguou-se se existe algum fator externo ao processo que impeça (ou já impediu) a sua realização, como evidenciado na figura 10. Para tanto, 72,2% disseram que não possuem nenhum fator que dificulte a execução de uma investigação coerente do subsolo, contudo para 27,8% existe sim, algo que impossibilita esse procedimento.

Segundo esses 27,8% os obstáculos são provenientes de fatores econômicos e culturais, haja vista, que o cliente na maioria das vezes recorre a alternativas mais baratas, mesmo sabendo que não é a melhor opção, como nos diz um dos engenheiros pesquisados “ o único problema é que o cliente procura algo barato e dessa forma não querem contratar o serviço de investigação do subsolo. Eles preferem executar de acordo com outras obras na cidade para ter uma falsa sensação de economia”. E também relacionam a fatores ligados a escassez de empresas que realizam os serviços de sondagem na região, e ao custo, pois, precisam na maioria das vezes contratar empresas de fora da cidade o que onera ainda mais o processo.

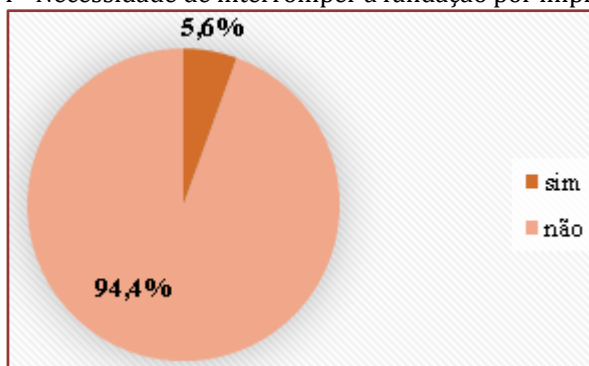
Figura 13 - Existência de fatores de impedimento da realização de investigação do subsolo



Fontes: As autoras.

Verificou-se também, se durante a execução de alguma obra já foi necessário interromper a mesma, por algum imprevisto relacionado a fundação. Na opinião de 94,4%, não existiram em suas obras à necessidade de interromper o procedimento adotado na fundação, e tão somente para 5,6%, sim, precisaram interromper o processo, como disposto na figura 11. Apresentou-se como solução para estes 5,6% a troca de uma fundação superficial por uma fundação profunda.

Figura 14 - Necessidade de interromper a fundação por imprevistos



Fontes: As autoras.

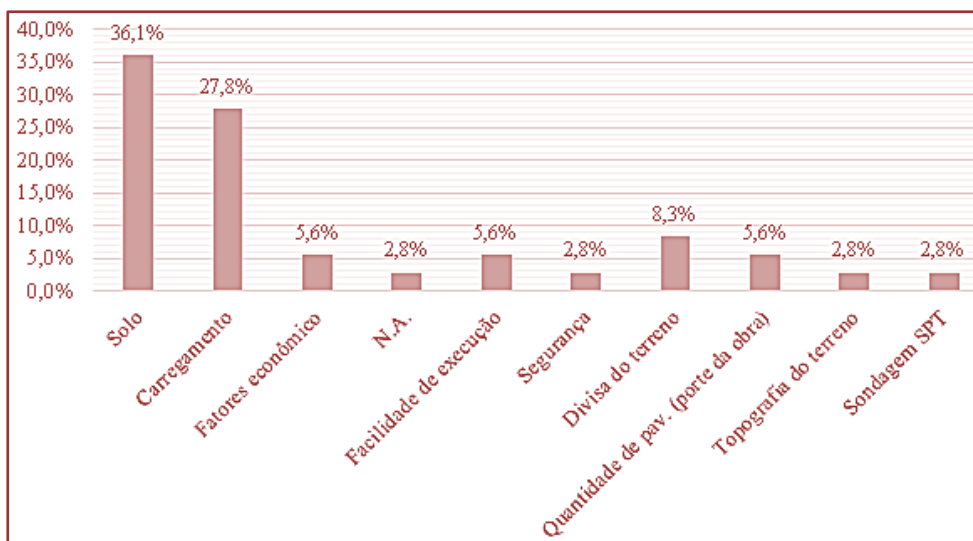
Para a ABCP a escolha do tipo de fundações possui algumas variáveis que devem ser consideradas, como, a topografia da área, características do maciço, dados da estrutura, dados das construções vizinhas e aspectos econômicos. Baseado nessas informações, buscou-se identificar quais eram os fatores que os engenheiros civis da cidade de Uruaçu-GO julgam ser mais importantes para chegar à escolha do tipo de fundação a ser adotada nas obras.

Conforme a figura 12, podemos ver a disposição dos itens considerados pelos engenheiros. Em que, para 36,1% o solo é o item principal a ser considerado, 27,8% consideram o carregamento (cargas) ao qual a fundação está sendo solicitada, 8,3% disseram ser a divisa do terreno, 5,6% acredita ser os fatores econômicos, a facilidade de execução e a quantidade de pavimentos, 2,8% julgam ser o nível de água (N.A.), a topografia do terreno e a sondagem SPT como meios importantes na determinação do tipo de fundação.

Percebe-se que além do cliente ser um obstáculo no processo de investigação do subsolo, o engenheiro civil também é um empecilho na realização desta caracterização inicial. Pois, dentre os pesquisados somente 2,8 % consideram a sondagem SPT como um importante instrumento para a determinação do tipo de fundação.

Com isso, é possível identificar uma contradição na fala dos engenheiros, pois para 36,1% o solo é o requisito mais importante a ser observado na determinação do tipo de fundação. No entanto, destes mesmos entrevistados somente 33,3% fizeram investigação do solo, evidenciando que não há tanta valorização na investigação do subsolo. Deixando essa análise a caráter do conhecimento empírico do engenheiro civil.

Figura 15 - Fatores importantes para a determinação do tipo de fundação

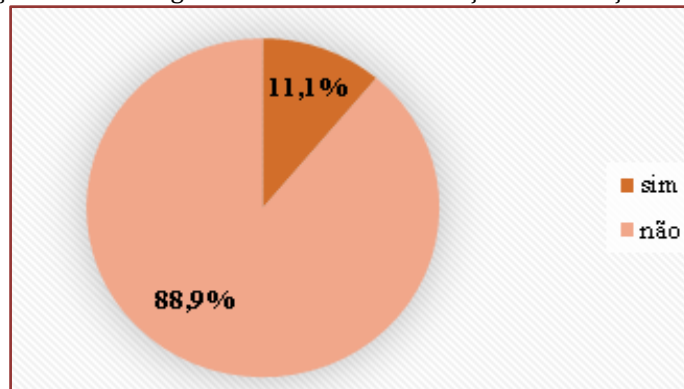


Fonte: As autoras.

Desta forma, ainda na caracterização das fundações das obras de Uruaçu-GO, pesquisou-se sobre a presença do nível de água, na execução das fundações. Para 88,9% dos investigados isto, não foi impedimento, à medida que para 11,1%, sim, o lençol freático tornou-se inconveniente, como demonstrado na figura 13. Quando perguntado se foi necessário modificar a escolha do tipo de fundação, esses 11,1% disseram que sim, pois, no projeto inicial não haviam sido previstos à presença de água e a fundação especificada não era recomendada para essa situação.

O fato de só 2,8% acharem que a posição do nível de água é uma parcela considerável na escolha do tipo de fundação, pode ser compreendida neste item, visto que, em poucos casos tornou-se obstáculo. Sendo assim, a maioria das construções de Uruaçu-GO, durante a execução das fundações, não enfrentaram esta problemática, fazendo com que muitos engenheiros esquecessem da importância da análise da presença de água.

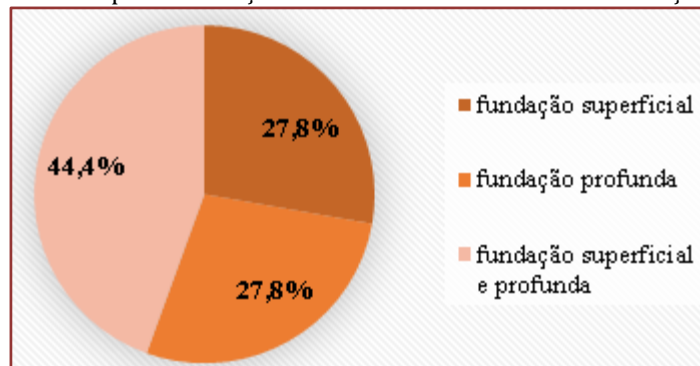
Figura 16 - A presença do nível de água foi obstáculo na execução da fundação das obras de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

Em relação ao tipo de fundação, quando questionado sobre a mais utilizada pelos engenheiros civis, destacou-se que 27,8% dos pesquisados empregam na escolha fundação do tipo superficial ou fundação profunda. Em razão do questionário, fornecer a opção de múltipla escolha, nessa etapa encontrou-se que, 44,4% em sua maioria estão acostumados a usar fundações superfícies e profundas, a escolha só vai ser alterada dependendo da carga imposta e do solo ao qual está apoiada. Como pode ser visto na figura 14.

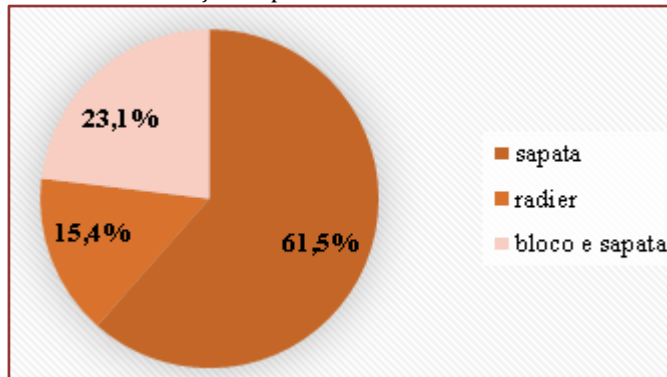
Figura 17 - Tipo de fundações mais utilizada nas obras de Uruaçu-GO



Fonte: As autoras.

Para os engenheiros civis que utilizam fundações superficiais em suas obras, foi averiguado quais os elementos são os mais empregados na execução das fundações de suas obras, na cidade de Uruaçu-GO. Identificou-se que, nenhum deles utilizam apenas blocos, sapata associada, viga de fundação e sapata corrida, sendo que 61,5% usam a sapata como elemento de fundação, 15,4% são radiers. Em virtude da possibilidade de escolhas, 23,1% afirmaram o uso de blocos e sapatas. Como podemos ver na figura 15.

Figura 18 - Elementos de fundação superficial utilizados nas obras de Uruaçu-GO

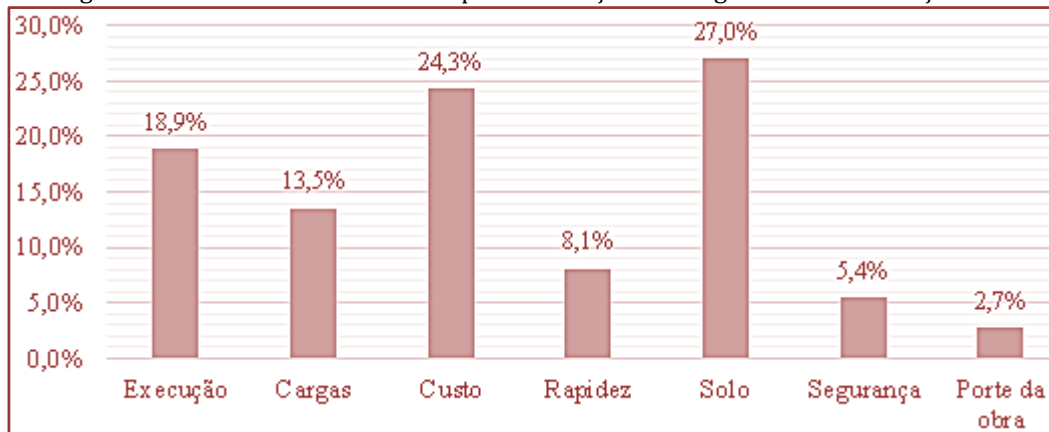


Fonte: As autoras.

O mesmo questionamento foi feito só que agora para os engenheiros que utilizam fundações profundas em suas obras, constatando quais os elementos são os mais empregados por eles na execução das fundações. Conclui-se que nenhum deles utilizam tubulões e caixões, como elemento de fundação profunda, totalizando 100% na escolha por estaca.

Os motivos que justificam a escolha do tipo de fundação adotada, de acordo os engenheiros civis de Uruaçu-GO, são expressos na figura 16. Em que, para 27,0% o solo é o principal motivo que interfere na escolha da fundação, seguindo por 24,3% que acreditam ser o custo do elemento de fundação a ser usado, 18,9% levam em consideração a facilidade na execução, em função da mão-de-obra existente, 13,5% pensam ser as cargas solicitantes, 8,1% procuram rapidez na execução da fundação, 5,4% esperam que a escolha seja segura, recalcando pouco e sem rompimento, e para 2,7% o requisito é referente ao porte da obra.

Figura 19 - Motivos de escolha do tipo de fundação dos engenheiros de Uruaçu-GO

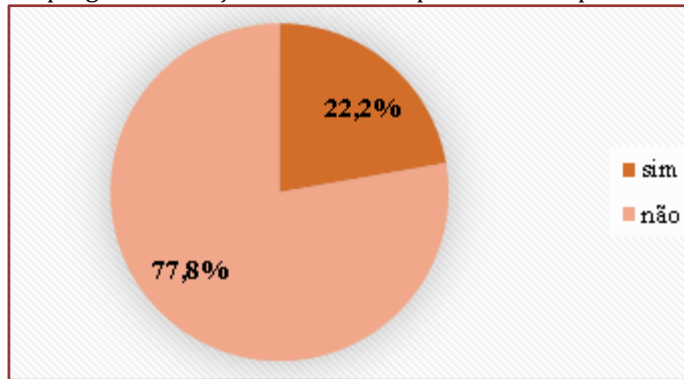


Fonte: As autoras.

Conhecendo os critérios que motivam os profissionais a escolherem o tipo de fundação, questionou-se se em algum momento houve situações em que a fundação adotada seguiu as mesmas profundidades para todos os pilares. Alcançando que 77,8% não empregaram em seus elementos de fundação a mesma profundidade, já 22,2% disseram que sim, utilizaram a mesma profundidade. Conforme figura 17.

Para estes 22,2% que responderam sim, foi perguntado se esta escolha ocasionou algum impacto, tanto na economia como na segurança. Obteve-se diferentes respostas para justificar este fato, pois, para alguns significou economia, para outros acarretou no aparecimento de trincas, e um outro deles justificou que “dependendo do tamanho da obra só vai haver mudanças nas profundidades se os ensaios de SPT determinar diferentes resistência no solo”.

Figura 20 - Emprego de fundações com mesma profundidade para todos os pilares

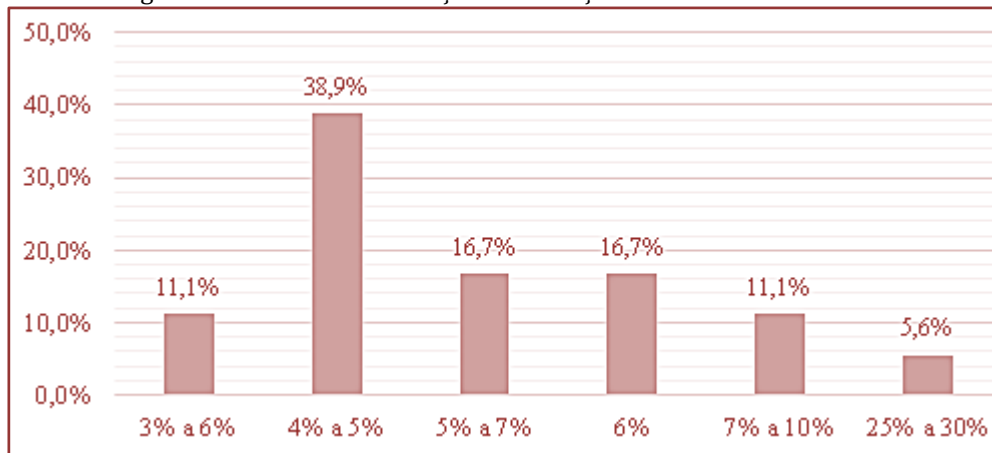


Fonte: As autoras.

Junior (2007), destaca que os custos relacionados a fundações correspondem a cerca de 3% a 7% do custo total da obra. Em função desta prerrogativa, buscou-se identificar na cidade de Uruaçu-GO, quais são os custos de fundação empregados pelos engenheiros. Tendo que, 38,9% disseram que seus gastos com fundações giram em torno de 4% a 5%, 16,7% gastam tanto 6%, como também 5% a 7%, para 11,1% variam tanto de 3% a 6%, quanto de 7% a 10%, e por fim 5,6% correspondem a um gasto de 25% a 30%. Como pode ser observado na figura 18.

Diante disto, constata-se que este valor de 5,6% expressos pelos investigados apresentam um custo com fundações em torno de 25% a 30%, estando este muito acima do estipulado pela literatura. E verificando, os itens anteriores percebe-se que estes profissionais não executam a investigação do subsolo. Para tanto, não sabem a variação que vão encontrar ao longo das camadas, fazendo com que em diversas situações aconteça um gasto desnecessário como estes, simplesmente pelo fato de não ter conhecido o solo em questão.

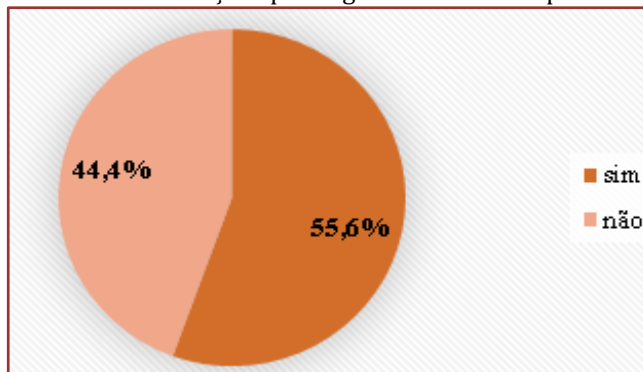
Figura 21 - Custos das fundações em relação ao custo total das obras



Fonte: As autoras.

Em vista disto, verificou-se se existe relação das manifestações patológicas com problemas resultantes em fundações, em Uruaçu-GO. Para 55,6% sim, já surgiram patologias decorrentes de inadequações nas fundações, e 44,4% disseram que em suas obras ainda não ocorreram tais manifestações. Conforme disposto na figura 19.

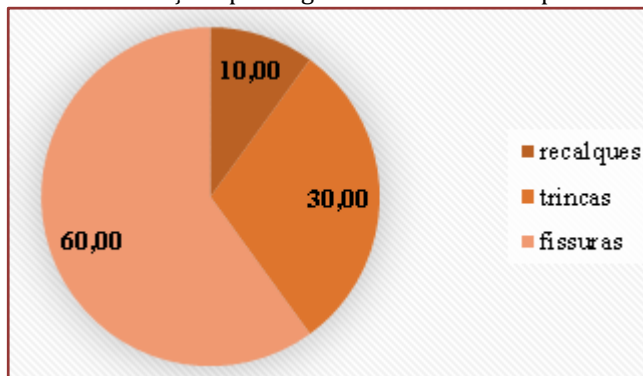
Figura 22 - Incidência de manifestações patológicas oriundas de problemas em fundação



Fontes: As autoras.

Para estes 55,6% que afirmaram ter surgido manifestações patológicas devido a impasses nas fundações, questionou-se quais os tipos que surgiram. Sendo, 60% através do aparecimento de fissuras, 30% trincas e 10% provenientes de recalque, como exposto na figura 20.

Figura 23 - Tipos de manifestações patológicas decorrentes de problemas na fundação



Fonte: As autoras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos no presente estudo foi possível identificar o perfil das obras, das quais os engenheiros civis mais trabalham na cidade de Uruaçu-GO. Sendo, construções residenciais com apenas um pavimento (térreo), de médio porte e apresentando um padrão normal de acabamento. De certa forma, isso é o reflexo das edificações da cidade, visto que, em sua maioria são obras residenciais, contendo também áreas comerciais sem uma quantidade significativa de pavimentos.

Notou-se também, que diante dos inúmeros setores que compõem a cidade de Uruaçu-GO, apenas 20 deles foram citados pelos profissionais, em obras das quais são os responsáveis técnicos. Surge o questionamento acerca dos demais setores, pois, sabe-se que o profissional qualificado pode assegurar a busca pela otimização dos custos, a aquisição de materiais de qualidade, o acompanhamento e a fiscalização da obra, além de possuir o conhecimento técnico.

Sobre a caracterização das fundações das obras da cidade de Uruaçu-GO, todos os engenheiros pesquisados realizam a elaboração de um projeto de fundações. Todavia, só 33,3% executam uma investigação do subsolo, cuja a finalidade é conhecer as propriedades do solo, e os pontos críticos como nível de água, variação de resistência do solo, dentre outros. Quando indagado sobre a complementação dos estudos geológicos, apenas 5,6% disseram que foi necessário, contudo, estes não haviam feito a investigação preliminar.

Diante disto, é perceptível que os engenheiros mesmo sabendo da importância da investigação não a fazem. Torna-se evidente que não é por impedimentos, pois 72,2% dos profissionais, alegaram não possuir obstáculo para a realização da investigação do subsolo, mesmo sobre a prerrogativa dos 27,8% que dizem ser o cliente e a escassez de empresas qualificadas o maior problema. Tal fato, pode ser justificado devido até o presente momento apenas 5,6% terem encontrado adversidades.

No que se refere aos parâmetros de determinação do tipo de fundação das obras da cidade de Uruaçu-GO, eles até surgem nas respostas dos profissionais, porém, é notório que nem todos os envolvidos consideram os mesmos parâmetros, alguns julgam mais itens que outros. O solo destaca-se como o principal fator a ser analisado na determinação da fundação, apesar de os engenheiros não utilizarem a investigação do solo e somente 2,8% considerarem o SPT como mecanismo auxiliador.

Quanto ao tipo de fundação que os engenheiros estão mais acostumados a trabalhar, obteve-se que 44,4% utilizam tanto fundações profundas como fundações superficiais, a depender do porte da obra e do solo. Destacando que, em situações cuja escolha era por fundações superficiais as sapatas foram os elementos escolhidos, e em casos de fundação profunda por consenso decidiu-se pelas estacas. Os motivos dessa preferência na opinião dos engenheiros eram em razões do solo, custo, execução, cargas, etc.

Em relação aos custos de fundações mencionados por Junior (2007) remeter a cerca de 3% a 7%, percebe-se que nas obras da cidade de Uruaçu-GO este custo se mantém próximo aos dados ilustrados. Exceto para 5,6%, dos profissionais que o custo varia de 25% a 30%, podendo explicar-se pela ausência de uma investigação do solo, e como não se sabe as características do mesmo, superdimensionam a fundação, onerando a etapa.

A respeito das manifestações patológicas, 55,6% disseram que ocorreram patologias nas obras da cidade de Uruaçu-GO, em decorrências de problemas oriundos nas fundações, através de recalques, fissuras, trincas.

Nas considerações finais do questionário, apenas um dos entrevistados deixou comentário, “na cidade não há muita procura para análise do subsolo para obras de pequeno porte, com a desculpa que o solo é tudo igual e que não é necessário fazer esse processo se outra obra já deu certo daquele jeito”.

Percebe-se que mesmo possuindo uma proporção de 11,74 engenheiros civis para cada mil trabalhadores, a cidade de Uruaçu apresenta maior relação que o Estado de Goiás, ainda assim, não se possui um caráter científico no processo de escolha do tipo de fundação. Uma vez rejeitada a investigação do subsolo por desinteresse do próprio engenheiro, o mesmo passa a elaborar e a executar uma fundação a escuras, ou seja, sem o mínimo de conhecimento a respeito do solo, das camadas de assentamento da fundação, existência de nível de água, dentro outros. Desta forma, o empirismo assume o papel central.

Portanto, compreende-se a necessidade da conscientização do engenheiro civil perante a aspectos que são relevantes na exploração e identificação do subsolo.

Pois, mesmo considerando dados empíricos do solo, uma vez ou outra pode-se estar onerado a etapa, ou quiçá desconsiderando uma variação significativa de resistência do solo. Gerando assim, perturbações futuras, que poderiam ter sido evitadas se durante o processo, tivesse adotado critérios que garantissem a segurança das edificações e dos seus moradores, a economia, evitando gastos desnecessários, e por fim a rapidez na execução.

REFERÊNCIAS

- [1] ABRAHÃO, Ricardo A.; Velloso, Dirceu A. Fundações. In: Oliveira, Antonio Manoel S.; Brito, Sérgio N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1998. p. 381-396.
- [2] ALONSO, Urbano R. Previsão e Controle de Fundações: Uma introdução ao controle da qualidade das fundações. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Estruturas de Concreto Armado - Manual. 1º ed. São Paulo: ABCP, 2003.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122 - Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro. 2010.
- [5] BASTOS, Paulo S. S. Sapatas de Fundação. 2016. São Paulo. 125 p. Notas de aula.
- [6] CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Consulta de profissionais – Cidade de Uruaçu. Disponível em: <www.creago.org.br/index.php/servicos/consulta-processos/cadastro-profissionais/consulta-profissionais-cidade>. Acesso em: 12/09/2018.
- [7] CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA. Consulta de profissionais – Estado de Goiás. Disponível em: <http://www.crea-go.org.br/bim/releosp_dreg.html>. Acesso em: 12/09/2018.
- [8] JUNIOR, Ivan J. Fundações e Contensões de Edifícios: qualidade total na gestão do projeto e execução. São Paulo: Pini, 2007.

- [9] KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. Craig Mecânica dos Solos. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- [10] SCHNAID, Fernando. Ensaios de Campo e suas aplicações a Engenharia de Fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- [11] TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO PARANÁ. Cálculo Amostra – População Finita. Disponível em: <<http://www1.tce.pr.gov.br/busca/documento/6/?por=amostra%20finita>>. Acesso em: 24/09/2018.
- [12] VELLOSO, Dirceu A.; LOPES, Francisco. R. Fundações - Critérios de Projeto -Investigação do Subsolo - Fundações Superficiais - Fundações Profundas. São Paulo: Oficina dos textos, 2010.

APÊNDICE A

| Enquadramento profissional | |
|--|--|
| 1. Engenheiro (a) Civil: | |
| 2. Trabalha na área da Construção Civil? () sim () não | |
| 3. Há quantos anos aproximadamente exerce a profissão de Engenheiro (a) Civil? | |
| 4. Enquanto profissional, presta serviços apenas na cidade de Uruaçu-GO? () sim () não | |
| 5. Na cidade de Uruaçu-GO, quantas obras você já acompanhou como responsável técnico? | |
| Caracterização das obras em Uruaçu-GO | |
| 6. Em sua maioria, as obras das quais têm trabalhado apresentam que configuração? () | |
| subsolo () 01 pavimento (térreo) () 02 pavimentos (térreo + andar) () mais de 02 pavimentos | |
| 7. Quanto a finalidade destas obras, se enquadram em qual item? () | |
| residencial () comercial () industrial () outro: _____ | |
| 8. Qual é o porte das obras que você habitualmente trabalha? () pequeno | |
| porte () médio porte () grande porte | |
| 9. Em relação ao padrão financeiro geralmente suas obras compreendem quais itens: () | |
| padrão baixo () padrão normal () padrão alto () comercial normal () | |
| comercial alto () residência Popular () galpão industrial () outro: _____ | |
| 10. Em quais setores da cidade de Uruaçu-GO estão localizadas as obras das quais você foi (ou é) o responsável pela execução? _____ | |
| 11. No decorrer das obras foi possível observar alguma semelhança do solo nas diferentes localidades da cidade de Uruaçu-GO? () sim () não | |
| 11.1. Se sim, como foi detectada essa semelhança (verificação tátil-visual ou alguma análise técnica)? | |
| Caracterização das fundações das obras de Uruaçu-GO | |
| 12. As suas obras possuem projeto de fundações? () sim () não | |
| 12.1. Se sim, quem elaborou? _____ | |
| 13. Ocorreu algum tipo de investigação do subsolo das obras em questão? () sim () não | |
| 13.1. Se sim, qual o tipo de investigação? _____ | |
| 14. Houve casos, cuja a investigação preliminar do solo necessitasse ser complementada por estudos geológicos? () sim () não | |
| 14.1. Se sim, por que foi necessário complementar a investigação do solo? | |
| 15. Existe algum fator que o impeça (ou já impediu) de realizar a investigação do subsolo? () sim () não | |
| 15.1. Se sim, qual é este fator que dificulta a realização da investigação do subsolo? | |
| 16. Durante a execução de alguma obra já foi necessário interromper a mesma, por algum imprevisto relacionado a fundação? () sim () não | |
| 16.1. Se sim, qual foi o problema? E isto, ocasionou impactos na segurança e economia da obra? | |
| 17. Na determinação do tipo de fundação das suas obras, quais são os parâmetros que você julga ser mais importante para justificar esta escolha? | |
| 18. A presença do nível de água (lençol freático) foi obstáculo para a execução da fundação de alguma obra de sua responsabilidade? () sim () não | |
| 18.1. Se sim, foi necessário modificar a escolha da fundação devido à presença do lençol freático? Por quê? | |
| 19. Qual tipo de fundação você está mais acostumado a trabalhar? () fundação superficial () fundação profunda | |
| 19.1. Caso a escolha seja fundação superficial, qual dos elementos a seguir é o mais utilizado por você? () blocos () sapata () radier () sapata associada () viga de fundação () sapata corrida | |
| 19.2. E se a escolha for fundação profunda, qual dos elementos a seguir é o mais utilizado por você? () estaca () tubulão () caixão | |
| 20. Quais os motivos fazem você escolher este tipo de fundação (superficial ou profunda)? | |
| 21. Você já manteve a mesma profundidade das fundações para todos os pilares? () sim () não | |
| 21.1. Se sim, esta escolha ocasionou algum impacto? | |
| 22. Os custos com a fundação correspondem a qual porcentagem em relação ao custo total das suas obras? | |
| 23. Já surgiram manifestações patológicas em suas obras oriundas de problemas na fundação? () sim () não | |
| 23.1. Se sim, quais manifestações patológicas? () recalques () fissuras () trincas () outros: _____ | |
| Comentários Finais: _____ | |

Capítulo 10

Avaliação da caminhabilidade no entorno de escolas: Estudo de caso na Região Metropolitana de Ribeirão Preto – SP

Thays Ribeiro Fávaro Miessa Rodrigues

Luiz Henrique Souza da Rocha

Marcelo Augusto Amancio

Fernando Brant da Silva Carvalho

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo, avaliar a caminhabilidade no entorno de escolas de duas cidades de uma recém-implantada região metropolitana, por meio de um instrumento para auditoria. As duas cidades aqui envolvidas, estão em estágios diferentes de desenvolvimento, sendo uma de pequeno porte, e uma de grande porte, podendo-se, assim, avaliar e comparar os dois cenários distintos dentro desta temática aqui abordada. Na metodologia foi utilizado um programa para auditoria baseado em um trabalho elaborado por Luciana Mayumi Nanya e Suely da Penha Sanches, cuja as informações foram obtidas através de avaliações feitas em campo e coleta de dados. Os resultados mostraram a avaliação das médias finais dos trechos selecionados de cada cidade e pôde-se observar que, em geral, a cidade de menor porte possui maior caminhabilidade do que a cidade de maior porte.

Palavras-Chave: Caminhabilidade, Forma Urbana, Polos Geradores de Viagens (PGV's).

1. INTRODUÇÃO

A urbanização dos centros urbanos é um fenômeno mundial e sua intensificação intensificou desde as primeiras aglomerações como Roma e Grécia antiga até os grandes centros atuais, entretanto esse fenômeno foi intensificado na metade do século XX com os grandes êxodos rurais. O desenvolvimento acelerado e desprovido de planejamento colocou recentemente, não só as metrópoles, mas também as cidades de médio porte, “em estado de risco”, quanto à mobilidade da sua população, por valorizar o transporte individual deixando sucatear o transporte coletivo e por negligenciar a necessidade dos transportes não motorizados. (RIBEIRO et al., 2014).

Os centros urbanos se assemelham a organismos vivos e assim estão em constante transformação e movimento. O ambiente é alterado e interferido pelas pessoas, de modo que essas conversões se tornam muitas das vezes permanentes ocasionando efeitos não planejados diante do projetado. A pós-Revolução industrial trouxe, junto com as máquinas das indústrias, os automóveis, que reduziram o tempo necessário para se percorrer maiores distâncias e conseqüentemente causaram modificações nas formas urbanas que favorecessem esse meio de locomoção. Essas modificações só foram possíveis devido ao crescimento da capacidade de consumo e a utilização intensificada do transporte motorizado (CARDOSO, CARVALHO & NUNES, 2019). As mudanças geradas pela chegada dos automóveis e pelo intenso uso dos mesmos impuseram novos padrões de organização espacial urbana que evidenciam o transporte motorizado. Essa estruturação exclusivista para atender os automóveis, sendo coletivos ou individuais, proporcionou um ambiente em que a opção por meios de transporte não motorizados fosse desmotivada, e em alguns casos impraticável (GEHL, 2013).

Os problemas relacionados com a locomoção e mobilidade urbana não se iniciaram recentemente, estudos e a própria história indicam que a medida do avanço da era moderna, o aumento da população se tornava cada vez maior, descompactando as cidades e aumentando suas dimensões e convergendo grande parte dessa expansão para os centros urbanos. A questão da mobilidade nesse momento seria facilmente solucionada com o surgimento do automóvel. No início do século XX, as carruagens foram sendo substituídas e o automóvel aos poucos sendo introduzido na vida das pessoas.

As condições de locomoção das pessoas nos centros das cidades estão sendo consideradas prejudicadas, graças ao crescimento gradativo do uso do transporte motorizado individual e a redução da utilização de transporte público, especialmente pelo aumento dos acidentes de trânsito com vítimas, dos engarrafamentos e na questão sustentável, com a poluição gerada através dos gases de efeito estufa. (CARVALHO, 2016).

Dentre os principais métodos de locomoção suprimidos pela concepção atual de mobilidade esta o caminhar. Caminhar é considerado agente indispensável na elaboração de “comunidades vivas”, motivando relações entre comunidades e vizinhanças, que humanizam o ambiente urbano e o classificam como um espaço seguro e aprazível para viver (CAMBRA, 2012). É uma maneira de se locomover natural e saudável, que compõe uma opção de transporte considerada no desenvolvimento e estudo do planejamento urbano das cidades. A urbe (cidade), é o local onde acontecem as relações entre os humanos e o compartilhamento de vivência e experiência entre a população e o ambiente ou espaço urbano, visto que o planejamento urbano dotado de uma boa organização e qualidade se faz excencial neste plano. O Pedestre deve ser visto como personagem principal no processo de planejamento, para que assim ele possa se sentir seguro ao usufruir deste espaço (AQUINO, et al, 2018).

Segundo GRANT, 2013, se os espaços públicos urbanos forem projetados visando os transportes não motorizados, como ciclismo e caminhada, de forma a proporcionar segurança, e qualidade ao usuário, a probabilidade de escolha de um indivíduo por um destes modos de transporte serão bem maiores. Dentro deste contexto, vale ressaltar que as medidas voltadas para o andar a pé não visam apenas o passeio recreativo, pelo contrário, enfatiza com destreza a caminhada como meio de transporte para todas as locomoções necessárias (PIVO; FISHER, 2011).

A este ponto introduzimos o assunto principal desse artigo, a avaliação do andar a pé, nos entornos escolares, sendo essa locomoção uma que necessita de um ambiente propício para sua realização uma vez que o público que participa dessa atividade, isto é, crianças, adolescentes e jovens, comonham um grupo de risco, devido suas fragilidades e limitações.

Sabendo então que há insurgente procura por uma cidade mais saudável, viva e segura no mundo contemporâneo e que projetos vêm sido desenvolvidos sobretudo na Europa e América do Norte demonstrando que um ambiente pode ser transformado e proporcionar boas vivências, gerando experiências agradáveis e atrativas para a população (CARDOSO, CARVALHO & NUNES, 2019). Tendo como base a necessidade de alterar os modelos de desenvolvimento e planejamento dos transportes urbanos propostos até então. (AMANCIO, 2005; SILVA E ROMERO, 2015; RUBIM E LEITÃO, 2013). Faz se necessário que voltemos os olhares da mobilidade urbana sustentável para os pedestres infante juvenis que utilizam com frequência o caminhar a pé, estando estes sob os riscos de uma forma urbana agressiva ao andar a pé.

Assim sendo, conhecer os entornos escolares ajuda-nos a observar as dificuldades enfrentadas pelos alunos; enxergar a escola como geradora de viagens auxilia-nos a entender a intensidade de conflitos que podem ocorrer entre veículos e pedestres; avaliar a caminhabilidade nos entornos escolares nos capacita a propor um ambiente saudável, motivante e seguro o caminhar a pé. Somente o conhecimento das necessidades e periculosidades dos ambientes estudados proporciona a elaboração de ambientes escolares propícios para os estudantes se locomoverem ativamente. A urgência dessas compreensões se faz necessária devido ao fato de que a Região Metropolitana de Ribeirão Preto (RMRP) ainda está no início de sua implantação, e certamente vira a ser uma grande região metropolitana. A aurora da RMRP é um fato que contribui para que mudanças sejam realizadas antes que os ambientes escolares fiquem ainda mais perigosos aos alunos e menos cativantes para o andar a pé. (ROSA, 2010).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho consiste na aplicação de um instrumento de avaliação da caminhabilidade em entornos escolares. A avaliação será realizada a partir de dados coletados nos entornos de duas escolas, com os dados obtidos serão realizados cálculos que indicarão determinados níveis de qualidade dos ambientes que circundam as instituições de ensino avaliadas.

Serão avaliados os entornos escolares de duas instituições de ensino em duas cidades diferentes. Serrana é uma das cidades avaliadas, a cidade é de pequeno porte constando com aproximadamente 50.000 habitantes e a segunda cidade que terá uma instituição avaliada é Ribeirão-Preto, uma cidade de grande porte que abriga aproximadamente 700.000 habitantes, ambas as cidades localizadas no interior do estado de São Paulo.

Efetuando a coleta de dados conseguir-se-á não somente realizar a avaliação dos entornos escolares, mas também efetuar uma comparação de entornos escolares em cidades de grande e de pequeno porte apontando assim as possíveis diferenças e semelhanças entre as duas cidades.

O presente trabalho irá utilizar o método proposto por Luciana Mayumi Nanya e Suely da Penha Sanches e estudará um elemento do segmento da via, sendo esse elemento a calçada em sua forma física, a periculosidade proveniente de outras pessoas (seguridade) e também a exposição ao tráfego.

Na Tabela 1, retirada do arquivo (NANYA E SANCHES, 2016) são apresentadas 11 categorias que serão avaliadas de acordo com 5 requisitos.

Tabela 1 – Avaliação dos segmentos de calçada

| Características | Como avaliar |
|---|---|
| 1. Infraestrutura desenvolvida para pedestres | • Ótimo: calçada em todo o segmento |
| | • Bom: calçada em 75% do segmento |
| | • Regular: calçada em 50% do segmento |
| | • Ruim: calçada em 25% do segmento |
| | Péssimo: sem calçada em todo o segmento |
| 2. Largura considerável da Calçada | • Ótimo: > 2.0 metros |
| | • Bom: entre 1,5 e 2 metros |
| | • Regular: cerca de 1,5 metros |
| | • Ruim: entre 1,0 e 1,5 metros |
| | • Péssimo: < 1,0 metro |
| 3. Barreiras sobre a calçada (mesas e cadeiras de bares, veículos estacionados, postes, árvores, lixeiras, etc) | • Ótimo: Não existem |
| | • Bom: Reduzem a faixa de circulação dos pedestres em 25% |
| | • Regular: Reduzem a faixa de circulação dos pedestres em 50% |
| | • Ruim: Reduzem a faixa de circulação dos pedestres em 75% |
| | • Péssimo: Impedem totalmente a passagem dos pedestres |
| 4. Conservação da pavimentação da calçada (defeitos, desníveis, buracos, etc.) | • Ótimo: Pavimento sem defeitos |
| | • Bom: Pavimento com defeitos em menos de 25% da superfície |
| | • Regular: Pavimento com defeitos em 50% da superfície |
| | • Ruim: Pavimento com defeitos em 75% da superfície |
| | • Péssimo: Pavimento com defeitos em mais de 75% da superfície ou sem pavimento |
| 5. Abrigo contra calor e chuva (árvores e fachadas que protegem os pedestres) | • Ótimo: muita proteção |
| | • Bom: 75% do segmento com proteção |
| | • Regular: 50% do segmento com proteção |
| | • Ruim: 25% do segmento com proteção |
| | • Péssimo: sem qualquer proteção |
| 6. Seguridade - segurança pessoal (presença de pedintes e desocupados, iluminação, outros pedestres, vida noturna ativa - bares e restaurantes) | • Ótimo: Sensação de seguridade total |
| | • Bom: Sensação de seguridade parcial |
| | • Regular: Sensação neutra |
| | • Ruim: Sensação de inseguridade parcial |
| | • Péssimo: Sensação de inseguridade total |
| 7. Conflitos com veículos sobre a calçada (guias rebaixadas) | • Ótimo: Sem guias rebaixadas em todo o segmento |
| | • Bom: Menos de 25% do segmento com guias rebaixadas |
| | • Regular: Entre 25% e 50% do segmento com guias rebaixadas |
| | • Ruim: Entre 50% e 75% do segmento com guias rebaixadas |
| | • Péssimo: Mais de 75% do segmento com guias rebaixadas |
| 8. Atração do ambiente (arborização, jardins, prédios atraentes, prédios em ruínas, lixo) | • Ótimo: Ambiente muito agradável |
| | • Bom: Ambiente parcialmente agradável |
| | • Regular: Ambiente neutro |
| | • Ruim: Ambiente parcialmente desagradável |
| | • Péssimo: Ambiente muito desagradável |

Tabela 1 – Avaliação dos segmentos de calçada (continuação)

| Características | Como avaliar |
|--|--|
| 9. Inclinação Longitudinal | • Ótimo: Segmento plano (declividade <1%) |
| | • Bom: Declive leve (entre 1% e 3%) |
| | • Regular: Declive médio (entre 3% e 5%) |
| | • Ruim: Declive acentuado (entre 5% e 8%) |
| | • Péssimo: Declive muito acentuado (>8%) |
| 10. Acesso para pessoas com deficiência | • Ótimo: de acordo com as normas de acessibilidade (sem desníveis) |
| | • Bom: Desníveis menores que 2 cm |
| | • Regular: Desníveis entre 2cm e 5cm |
| | • Ruim: Degraus entre 5cm e 10cm |
| 11. Exposição ao tráfego (velocidade e fluxo de veículos na via) | • Péssimo: Degraus > 10cm (intransitável para cadeirantes) |
| | • Ótimo: Via local (pouco tráfego, veículos leves com velocidades < 35 km/h) |
| | • Bom: Via coletora (pouco tráfego, com velocidades entre 35 e 40km/h) |
| | • Regular: Via coletora (tráfego médio, poucos veículos de grande porte, com velocidades entre 40 e 50km/h) |
| | • Ruim: Via coletora (tráfego médio, incluindo veículos de grande porte, com velocidades entre 50 e 60 km/h) |
| • Péssimo: Via arterial (muito tráfego, incluindo veículos de grande porte, com velocidades > 60 km/h) | |

Fonte: Nanya e Sanches, 2016

A avaliação da calçada é essencial neste estudo, pois a calçada está ligada diretamente a caminhabilidade da via (ITDP, 2016). São avaliadas tanto as características físicas da calçada quanto as características de exposição ao tráfego onde ela está localizada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da coleta de dados pode-se calcular a média de cada pesquisa, a média de cada trecho (será anexado ao final do trabalho) e a média de todos os trechos, que será apresentada nas tabelas 4 e 5.

As tabelas 2 e 3 apresentam a média referente a cada pesquisa feita em todos os trechos, nas escolas Jardim das Rosas – Serrana e Colégio Batista Independente – Ribeirão Preto, pode-se observar que a média da escola Jardim das Rosas é maior que a média da escola Colégio Batista Independente. Isso significa que a caminhabilidade na cidade de médio porte (Serrana) é maior que na cidade de grande porte (Ribeirão Preto)

Tabela 2: Avaliação da Média de cada pesquisa – Ribeirão Preto

| Pesquisa | Características | Média Pesquisa |
|----------|---|----------------|
| 1 | Infraestrutura desenvolvida para pedestre | 4,81 |
| 2 | Largura considerável da calçada | 4 |
| 3 | Barreiras sobre a calçada | 3,4 |
| 4 | Conservação do pavimento da calçada | 3,3 |
| 5 | Abrigo contra calor e chuva | 2,39 |
| 6 | Seguridade | 2,35 |
| 7 | Conflitos | 2,94 |
| 8 | Atrações | 2,85 |
| 9 | Inclinação Longitudinal | 3,27 |
| 10 | Acesso para pessoas com deficiência | 1,35 |
| 11 | Exposição ao tráfego | 3,82 |

Fonte: Autoral

Tabela 3: Avaliação da Média de cada pesquisa – Serrana

| Pesquisa | Características | Média Pesquisa |
|----------|--|----------------|
| 1 | Infrasestrutura desenvolvida para pedestre | 4,88 |
| 2 | Largura considerável da calçada | 4,42 |
| 3 | Barreiras sobre a calçada | 3,51 |
| 4 | Conservação do pavimento da calçada | 3,97 |
| 5 | Abrigo contra calor e chuva | 1,91 |
| 6 | Seguridade | 2,99 |
| 7 | Conflitos | 3,17 |
| 8 | Atrações | 3,36 |
| 9 | Inclinação Longitudinal | 3,66 |
| 10 | Acesso para pessoas com deficiência | 2,03 |
| 11 | Exposição ao tráfego | 3 |

Fonte: Autoral

Nas tabelas 4 e 5, são exemplificadas as médias gerais de todos os trechos, confirmando mais uma vez uma maior caminhabilidade na cidade de menor porte.

Tabela 4: Avaliação da Média geral de todos os trechos – Ribeirão Preto

| Avaliação do Entorno Escolar |
|------------------------------|
| 3,085 |

Fonte: Autoral

Tabela 5: Avaliação da Média geral de todos os trechos – Serrana

| Avaliação do Entorno Escolar |
|------------------------------|
| 3,345 |

Fonte: Autoral

Analisando as médias finais, conclui-se que, apesar de Serrana ter maior caminhabilidade que Ribeirão Preto nesses trechos estudados, as duas cidades ainda possuem uma nota baixa de caminhabilidade, sendo classificadas com a maioria das notas em 3, ou seja, sendo consideradas como trechos com avaliação regular.

Sendo assim, é preciso que intervenções sejam realizadas nos trechos referentes às duas escolas, para que a caminhabilidade nesses trechos sejam melhores, contribuindo para uma melhor qualidade de vida das crianças e adolescentes que estudam nessas escolas e até mesmo das pessoas que moram nesses bairros.

Logo abaixo, serão descritas algumas intervenções possíveis para o melhoramento da caminhabilidade nos trechos avaliados.

4. CONCLUSÃO

O instrumento de Auditoria utilizado para avaliar a caminhabilidade apresentado neste estudo, foi firmado por dois investigadores, o qual foi tido como de fácil aplicação, exingindo apenas as tabelas apresentadas e a disponibilidade de ir a campo, a identificação da aplicabilidade desse método contribuí e incentiva a comunidade científica a realizar avaliações em maiores escalas e com padrões cada vez mais distintos a fim de abastecer os dados relacionados a avaliações de caminhabilidade em ambientes escolares e assim conseguir desenvolver métodos ainda mais precisos e adaptáveis para diferentes realidades do que os utilizados.

Através desse estudo foi possível avaliar trechos de duas escolas com as mesmas especificações (alunos do ensino médio, bairro de classe média baixa), porém em cidades distintas. Observar as carências no entorno das escolas, e comparar essas carências entre essas escolas. Traçar um perfil dos entornos escolares e projetar uma perspectiva local e regional.

Observa-se então que apesar da escola Jardim das Rosas estar situada na cidade de Serrana, que é uma urbe de pequeno porte, possui melhor índice do que a escola Colégio Batista Independente, que se encontra na cidade de Ribeirão Preto. Deve-se levar em conta fatores como a idade dos bairros e das cidades, uma vez

que planos diretores de prefeituras foram se transformando ao longo dos anos, contudo, o presente estudo indica um melhor índice de caminhabilidade em cidades que possuem menor população, todavia em ambas os resultados apresentados foram insatisfatórios e alarmantes quanto à qualidade das calçadas, da seguridade, e da exposição ao tráfego.

O índice obtido através deste estudo expôs a enorme necessidade de intervenção nos trechos estudados para que as crianças e adolescentes possam se sentir seguros e convidados a utilizar o modal a pé para realizar suas atividades relacionadas à escola. Intervenções como melhoramento da seguridade, especialmente na escola Colégio Batista Independente, de Ribeirão Preto, também acesso para pessoas com que possuem algum tipo de deficiência, reformas em alguns trechos de calçadas e intervenções com a utilização de agentes de trânsito que possam acessar na travessia desses estudantes na região do entorno escolar, essas ações podem promover maior conforto e segurança dos estudantes, promovendo assim a locomoção destas através do modal a pé.

Tivemos a felicidade de poder estudar e compreender um tema tão considerável como este, poder conhecer mais sobre a criação e desenvolvimento de uma cidade, e os problemas que as pessoas enfrentam em seus trajetos, no caso deste estudo, os problemas enfrentados pelos adolescentes e crianças e também poder apresentar melhoramentos para beneficiar a qualidade de vida desses estudantes.

Esperamos que esse estudo possa auxiliar pesquisas futuras, por meio dos dados e argumentações aqui apresentados, bem como com a proposta e motivação de novos acadêmicos que se interessarem por esse relevante assunto, deduzimos que os resultados encontrados nessa avaliação reflitam com muita probabilidade a triste realidade da qualidade do andar a pé em escolas de todo o nosso país, fazemos então um apelo para que novos pesquisadores e acadêmicos voltem os seus esforços para esse campo tão carente de pesquisas e esperamos ver o florescer da caminhabilidade, do desenho urbano sustentável, seguro e cativante para o andar a pé em um número cada vez maior de escolas em nossa nação bem como em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

- [1] AMANCIO, A. M. Relacionamento entre a forma urbana e as viagens a pé. 2005. 100f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.
- [2] AQUINO, P., et al. (2018). Índice de Caminhabilidade: Caracterização e análise no centro de Esperança-PB. *Revista Tema- V.19, N 30/31*.
- [3] BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE TRANSPORTE DA MOBILIDADE URBANA. PlanMob: Caderno de referência para elaboração de plano de mobilidade urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2015.
- [4] CAMBRA, P. J. M de. *Pedestrian accessibility and attractiveness indicators for walkability assessment*. 120f. Dissertação de mestrado, Curso de Urbanismo e Ordenamento do Território, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012.
- [5] CARDOSO, L., CARVALHO, I. R. V., NUNES, N. T. R., (2019). Caminhabilidade como instrumento de mobilidade urbana: reflexões sobre a realidade de Belo Horizonte. *Revista dos Transportes Públicos – antp*, Ano – 41 - 2019 (2º quadrimestre).
- [6] CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Texto para Discussão. Mobilidade Urbana Sustentável: Conceitos, Tendências e Reflexões. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2016.
- [7] CERVERO, R. Built environment and mode choice: toward a normative framework, *Transportation Research D*. Vol. 7, pag 265-284, 2002.
- [8] GEHL, Jan. Cidades para pessoas. 2ª edição. Tradução de Anite Di Marco. São Paulo: Perspectiva, 2013. 276 p.
- [9] GHIDINI, R. (2011). A caminhabilidade: Medida urbana sustentável. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP* - Ano 33 - 2011 - 1º quadrimestre. São Paulo.
- [10] GONÇALVES, P. et. al. Avaliação da Caminhabilidade nas Ruas da Cidade. *Revista Mirante, Anápolis (GO)*, vol. 8, n. 1, 2015.
- [11] GRANT, BENJAMIM. Getting to Great Places: how better urban can strengthen San jose's future, *Spur Report*, San Jose, p. 1-35, dez. 2013.
- a. HANDY, S. How the Built Environment Affects Physical Activity. *Views from Urban Planning. American Journal of Preventive Medicine*, p.64-73, 2002.
- [12] ITDP BRASIL. Índice de Caminhabilidade Ferramenta. Rio de Janeiro, 2016.

- [13] LITMAN, T. London Congestion Pricing: Implications for other cities. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, 2003.
- [14] NANYA, L. M., SANCHES, S. P. Instrumento para auditoria e avaliação da caminhabilidade em áreas escolares. ANTP, 2016.
- [15] PIVO, GARY; JEFFREY FISHER, 2011. The Walkability Premium in Commercial Real Estate Investments, Real Estate Economics. 39(2): p.185-219. 2011.
- [16] PORTUGAL, L; MELLO, A. (2017). Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção da Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil. *EURE*, v. 43, pp. 99-125.
- [17] RIBEIRO, L. C. Q., SILVA, E. T. & RODRIGUES, J. M. (2014). As metrópoles brasileiras: entre a concentração e a dispersão. *xiii Seminário da Rede Ibero americana de Investigadores* (rii). Salvador, Bahia, 1-4 setembro, 2014.
- [18] ROSA, F. (2010). Fatores que influenciam na opção de modo de transporte de crianças para a escola – estudo de caso São Carlos-SP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos.
- [19] RUBIM, B & LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. Estudos avançados, 2013.
- [20] SILVA, G.; ROMERO, M. (2015). Sustentabilidade urbana aplicada: Análise dos processos de dispersão, densidade e uso e ocupação do solo para a cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Brasil. *EURE*, v.41(122), p.209-237.

Capítulo 11

Estudo da imobilização da enzima tirosinase em carvão ativado granular para futura utilização na remoção de fenol de efluentes

Ana Carina Cruz de Mello

Andréa Medeiros Salgado

Fabiana Valéria da Fonseca

Resumo: O fenol e seus derivados são poluentes comumente encontrados em efluentes industriais e mesmo em baixas concentrações, apresentam elevada toxicidade ao ambiente aquático. Assim o uso da enzima tirosinase, oriunda do *Agaricus bisporus*, imobilizada em carvão ativado granular para remoção de fenol em solução aquosa, foi testado neste trabalho. Foram estudadas a influência da quantidade de suporte, da agitação do sistema e do tempo de contato para otimizar o procedimento de imobilização. Os melhores resultados foram alcançados quando utilizados 10 gramas de suporte carvão ativado granular, agitação de 150 RPM e tempo de contato de 90 minutos na imobilização. A reutilização do suporte também foi testada. Os resultados demonstram que o carvão ativado granular pode ser utilizado como suporte da enzima tirosinase contida no extrato enzimático bruto.

1. INTRODUÇÃO

O fenol e seus derivados são uns dos principais poluentes encontrados em efluentes, estando presentes em efluentes aquosos provenientes de diversas atividades industriais, como a indústria petroquímica, têxtil, de plásticos, de resinas, de celuloses e de papel, além de coquearias (Beker et al., 2010). Assim, torna-se necessária a criação de técnicas eficientes e baratas para o tratamento destes efluentes, haja vista a toxicidade dos compostos fenólicos, que em concentrações da ordem de ppm podem ser letais, como no caso da ingestão de 1g da substância ela pode ser letal mesmo para seres humanos.

De modo geral, os métodos convencionais de remoção de fenol apresentam diversas limitações, aumentando o interesse pelo desenvolvimento de rotas mais eficientes e baratas, tal como a degradação de fenol e compostos fenólicos através do uso de enzimas, como as polifenol oxidases (PPO), entre elas a tirosinase e poliperoxidases. Uma forma de reduzir o custo da utilização de enzimas em processos industriais, maior limitação para sua utilização em larga escala, é a utilização das enzimas oriundas de extratos brutos, mais baratas que as enzimas comerciais, e a utilização da enzima imobilizada, que permite sua reutilização.

O presente trabalho visa estudar a utilização do carvão ativado granular como suporte para a imobilização da enzima tirosinase presente em um extrato enzimático bruto, obtido a partir do cogumelo *Agaricus bisporus*, otimizando a imobilização estudando a influência de diferentes parâmetros (massa de suporte, agitação, tempo de contato e origem do carvão), para sua futura utilização na remoção de fenol de um efluente sintético, visando obter uma alternativa eficiente para a remoção de fenol de efluentes industriais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. FONTE DA ENZIMA TIROSINASE: EXTRATO ENZIMÁTICO DO MACRO FUNGO *AGARICUS BISPORUS*.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados corpos de frutificação do *Agaricus bisporus*, conhecido como champignons de Paris, *in natura*, adquiridos no Mercado Comercial. Após a compra os cogumelos foram estocados em refrigerador a 4°C por no máximo 5 dias até sua utilização na extração enzimática da tirosinase. O método de extração da tirosinase presente no *Agaricus bisporus* foi o procedimento desenvolvido por *Kameda* (2003). Os corpos de frutificação do *Agaricus bisporus* foram triturados em acetona gelada na concentração 1:1 (g/mL) e o preparado foi filtrado em papel de filtro a vácuo, gerando o 1º. extrato enzimático. Em seguida, a pasta resultante foi congelada por 24h a 0°C e posteriormente ressuspensa em água destilada e resfriada por 24h à 4°C, originando assim o 2º. extrato enzimático. Foram retiradas alíquotas de 1,0mL dos extratos obtidos para a determinação da atividade enzimática. A medida da atividade enzimática da tirosinase foi determinada seguindo o procedimento adaptado de *Santos* (2012).

2.2. SUPORTE DE IMOBILIZAÇÃO: CARVÃO GRANULAR E PROCEDIMENTO DE IMOBILIZAÇÃO

O carvão ativado granular Carbotrat AP é de origem brasileira. Foi fornecido pela Indústria Química Carbonífera Criciúma S.A. O método de imobilização por adsorção utilizando carvão ativado granular como suporte foi desenvolvido por *Silva* (2005). Para a imobilização foram colocados em um béquer uma quantidade determinada de suporte e 50 mL de solução de extrato bruto enzimático, contendo em média uma atividade enzimática de 3000 U, em tampão fosfato 0,1 mol/L, pH 7,0. Deixou-se em contato por um período determinado, em agitação constante. Após o período de contato, centrifugou-se a 4.000 rpm por 10min, a 25°C, seguida de filtração a vácuo. Foram preparados brancos, utilizando tampão fosfato 0,1 mol/L, pH 7,0, no lugar da solução enzimática, nas mesmas condições para os testes em diferentes tempos de contato. Foram tomadas amostras de tempo em tempo para análise da atividade enzimática, feita em duplicata. A taxa de imobilização da enzima no carvão ativado foi feita de forma indireta, a partir dos dados de atividade enzimática residual (U) da solução enzimática e determinada a atividade no suporte por diferença.

A otimização da imobilização foi realizada variando a massa do suporte utilizado; o tempo de contato durante a imobilização a 25°C, e a agitação, a fim de avaliar esses parâmetros. Foram tomadas amostras de tempo em tempo para análise da atividade enzimática, feita em duplicata.

A reutilização do suporte foi testada, este passou por uma lavagem com tampão pH 7,0 e água destilada, sucessivamente, seguida de filtração a vácuo. O suporte foi então acondicionado em um dessecador por até 48h. Após o tempo no dessecador, o suporte foi utilizado para uma nova imobilização. Foram feitas 2 reutilizações, somando 3 utilizações do mesmo material de suporte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ATIVIDADE ENZIMÁTICA DOS EXTRATOS BRUTOS OBTIDOS

Para a realização dos experimentos, foram feitas extrações de lotes diferentes de cogumelo *Agaricus bisporus*, gerando extratos brutos. Em todas as extrações, o valor de atividade enzimática do 2º extrato obtido foi mais alta que o 1º. Os valores mínimos e máximos para as atividades enzimáticas dos extratos foram, respectivamente 420 e 1340 U/mL. A enzima tirosinase, encontrada no cogumelo *Agaricus bisporus*, é uma enzima intracelular, presente no citoplasma do cogumelo. O maior valor de atividade enzimática dos segundos extratos pode ser explicado pelo fato que durante a incubação da segunda ressuspensão para a obtenção do segundo extrato ocorra um maior rompimento celular, promovendo uma maior difusão da enzima ao meio externo.

3.2. INFLUÊNCIA DA CARGA DE SUPORTE, DA AGITAÇÃO E TEMPO DE CONTATO PARA A IMOBILIZAÇÃO

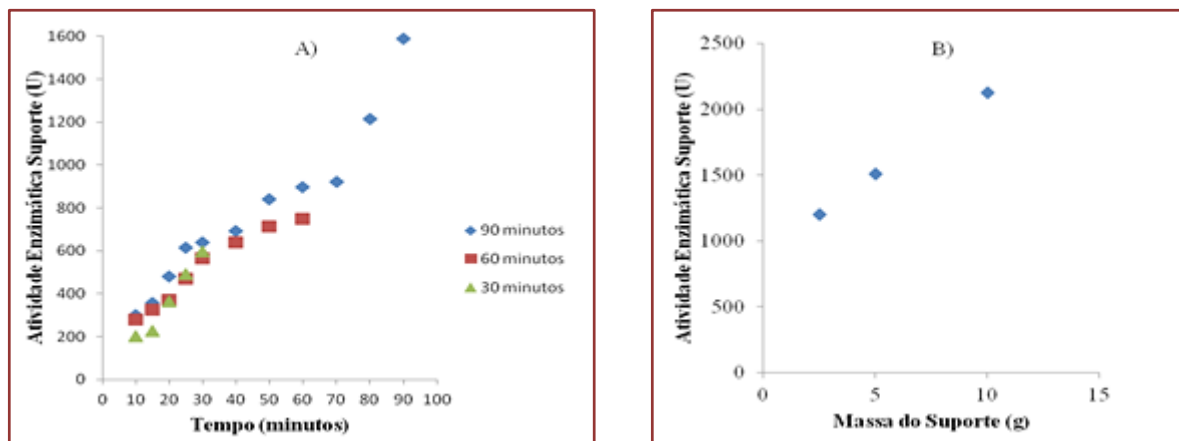
Foram feitos ensaios de imobilização, usando como suporte o Carvão Ativado Granular Carbotrat AP, na quantidade de 10g e uma solução enzimática com 3000 U de atividade, feita a partir do extrato bruto em três tempos diferentes, 30, 60 e 90 minutos. A Figura 1A apresenta os resultados da atividade enzimática do suporte imobilizado em relação ao tempo de contato, mantendo a agitação fixa em 200 RPM. Pode se observar que a atividade enzimática aumenta com o tempo e que a maior atividade enzimática ocorre no tempo de 90 minutos.

Foram realizados testes a fim de verificar a influência da quantidade de suporte para a imobilização de uma solução inicial de 3000 U, mostradas na Figura 1B. Para isso, utilizou-se o procedimento de imobilização porém utilizando como quantidade de suporte 2,5g, 5g e 10 g. Estes testes demonstraram que quanto maior a quantidade de suporte, maior a quantidade de enzima imobilizada, uma vez que a atividade enzimática aumentou conforme o aumento da massa do suporte.

Para a escolha da melhor agitação, foram feitos ensaios de imobilização usando como suporte na quantidade de 10g e uma solução enzimática com \pm 3000 U de atividade, com o tempo de contato de 90 minutos e variando a agitação em 100,150,200 e 300 RPM. A pior taxa de imobilização foi obtida usando uma agitação de 100 RPM, utilizando uma agitação de 150 e 200 RPM foi possível obter uma taxa de imobilização acima de 50% enquanto utilizando uma agitação de 300 RPM, 40%, a baixa eficiência de oxidação para baixa velocidade de agitação deve-se à mistura insuficiente da tirosinase e valores maiores de agitação observa-se a inativação mecânica da enzima.

Quanto à reutilização do suporte foi verificado que a taxa de imobilização decaiu a cada uso do mesmo suporte, porém essa queda foi inferior a 10%, o que pode ser considerado um resultado muito positivo, pois a reutilização do suporte ajudaria a diminuir o custo da utilização da enzima imobilizada, dando uma maior viabilidade econômica para a mesma.

Figura 1- A) Variação da atividade enzimática no suporte em relação ao tempo de contato B) Imobilização em quantidades diferentes de suporte



4. CONCLUSÕES

A metodologia utilizada neste trabalho permitiu imobilização de até 70% de enzimas presentes na solução enzimática, em um suporte de carvão ativado granular. As melhores condições de imobilização foram alcançadas utilizando 10 g de suporte, agitação de 150 RPM e tempo de contato de 90 minutos. Foi permitida a reutilização do suporte, sendo o suporte promissor para testes em uso de remoção de fenol.

O presente trabalho também foi apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia Química- COBEQ que ocorreu em setembro de 2018 na cidade de São Paulo- Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] BEKER, U; Ganbold, B; Dertli, H; Gülbayir, D. D. "Adsorption of phenol byactivated carbon." *En. Conv. and Manag.* v 51, p. 235–240, 2010.
- [2] SANTOS, V. P. S.; "Desenvolvimento de um método para detecção de ácido benzóico em refrescos a base de guaraná." Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- [3] SILVA, VV.; Guilarduci, MJP.; Martelli PB.; Honória de Fátima Gorgulho, HF. "Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino" *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 6, 1226-1232, 2006.
- [4] KAMEDA, E. "Estudo do processo de obtenção de extrato enzimático de *Agaricus bisporus* para remoção de fenol em efluente sintético". UFRJ. Rio de Janeiro. 2003.

Capítulo 12

Abordagem sistêmica e comparativa de fluidos térmicos orgânicos de base parafínica e parafínica hidrogenada

Maurino Gomes Costa

Catia Fredericci

Resumo: Os sistemas de fluido térmico orgânico representam para as plantas industriais, investimentos significativos de capital, altos custos de reposição e são essenciais para a capacidade de fabricação de muitos produtos. Por serem aplicados em sistemas térmicos, que trabalham em temperaturas elevadas (aproximadamente 300 °C), os riscos de incêndio e de descontinuidade operacional são muito comuns. Esse trabalho consistiu numa primeira etapa, na identificação e quantificação dos segmentos que utilizam Fluido Térmico Orgânico (FTO) e quais são os mais utilizados em plantas térmicas. Os resultados mostraram que há cerca de 3.370 plantas industriais instaladas no Brasil que utilizam o FTO preponderantemente no estado líquido, sendo a segunda alternativa no estado vapor. Todas trabalham com a finalidade de transportar calor em baixas pressões e em temperaturas elevadas. Com relação ao tipo de fluido, os de base mineral parafínica e base parafínica hidrogenada foram os mais citados, sendo utilizados em aproximadamente 82 % das aplicações, devido a boa relação entre a confiabilidade operacional oferecida e o atrativo custo de aquisição. No entanto, os fluidos térmicos orgânicos em temperaturas elevadas podem apresentar degradações térmicas e oxidação, levando a sérios riscos de segurança e descontinuidade de processo. Na segunda etapa desse trabalho foram escolhidos três dos fluidos mais utilizados em sistemas térmicos, dos quais dois são de base parafínica (A e B) e um de base parafínica hidrogenada (PH).

Como as informações de catálogos das propriedades dos fluidos antes de sua operação (fluido novo) não cobrem várias propriedades importantes, para mapeamento de riscos, esse trabalho teve como objetivo avaliar propriedades físico-químicas dos fluidos como densidade e viscosidade na faixa de temperatura de 15 °C a 320 °C, residual de carbono, ponto de fulgor, insolúveis, estabilidade térmica, teor de umidade, índice de acidez e análise química de 19 elementos, por espectroscopia de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente. Análises de espectroscopia no infravermelho foram realizadas para identificar e confirmar a base do fluido térmico, e detectar possível degradação desse. Também foram calculadas e avaliadas algumas propriedades termodinâmicas como condutividade térmica, calor específico, entalpia específica, e número de Prandtl no intervalo de 15 °C a 320 °C. O objetivo foi verificar a possibilidade de estabelecer uma abordagem sistêmica e comparativa que permita considerar as propriedades específicas do meio de transferência de calor, o FTO novo (antes de sua aplicação), para garantir uma operação mais segura em plantas térmicas que o utilizem em fase líquida, considerando a capacidade de recalcar o fluido ou bombeamento, a segurança no uso, a eficiência e a continuidade operacional. Após as análises dos três fluidos minerais, (A e B - parafínicos e PH - parafínico hidrogenado), obteve-se como melhor possibilidade de escolha o fluido PH, em função de: (a) maior estabilidade térmica, (b) menor taxa de reposição no sistema (c) maior segurança operacional da unidade industrial quanto às consequências de sua degradação e potenciais riscos de incêndio e explosão, (d) menor probabilidade de falha ou perdas junto à produção, e (e) maior retorno sobre a estrutura de investimento (custo total do fluido x expectativa de vida útil).

Palavras-chave: fluido térmico orgânico, degradação térmica, propriedades, parafínico, mineral.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento da aplicação dos fluidos térmicos orgânicos (FTO's) para transferência de calor está diretamente relacionado ao processo de industrialização e ao desenvolvimento de novas tecnologias de produção nas sociedades modernas a partir da Revolução Industrial. Durante a Segunda Guerra Mundial, a demanda significativa por novos materiais e por produtos químicos, tanto em diversidade quanto em escala, impulsionou o desenvolvimento da indústria química (KIRK-OTHMER, 1992; KLETZ, 2010; WAGNER, 1997).

De acordo com a Exxon Mobil Corporation (2019) há uma classificação denominada API (*American Petroleum Institute*) para os óleos básicos. Esta classificação visa padronizar as especificações de óleos básicos, para todas as refinarias existentes no mundo. Foram adotados três parâmetros como referência: teor de enxofre, teor de saturados e o índice de viscosidade (I.V. ou VI – do inglês *viscosity index*), como apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação API dos óleos básicos

| Grupo | Especificações Físicas | | | Processos de Produção |
|-------|------------------------|---------------------|----------------------|--|
| | VI | Enxofre (%) peso | Saturado (%) peso | |
| I | 80 – 120 | > 0,03 | < 90 | Convencional (refino por solvente) |
| II | 80 - 120 | ≤ 0,03 | ≥ 90 | Hidrocraqueamento/desparafirização |
| III | ≥ 120 | ≤ 0,03 | ≥ 90 | Hidrocraqueamento/desparafirização |
| IV | 140 typ | 0,00 typ | > 90 typ | PAO (polialfaolefina) de síntese química |
| V | | | | Todos os outros tipos: ésteres, poliglicol, ésteres-fosfatos, etc. |

O mercado mundial de fluidos de transferência de calor deverá atingir US\$ 2,87 bilhões até 2021, a uma taxa de crescimento de 8,2 % no período de previsão (entre 2016 e 2021), dados mencionados em “Global Heat Transfer Fluid Market”. Em 2017 havia previsão de movimentação de US\$ 2.557,2 milhões, (WRIGHT et al., 2015).

Os setores químico e petroquímico, devido à sua natureza competitiva, associada ao crescimento da economia em escala mundial e ao rápido avanço tecnológico, incrementaram o aumento das plantas industriais e a complexidade dos processos produtivos (KLETZ e AMYOTTE, 2010). Tal demanda gerou a necessidade de surgimento de fluidos térmicos que ampliassem as limitações físicas definidas do uso da água em suas fases, como o ponto de congelamento a 0 °C e temperatura crítica T_c de 374,1 °C, pressão de vapor relativamente elevada e pressão crítica P_c de 221,2 bar. Com a ampliação da necessidade de temperatura de trabalho acima de 100 °C, devido à pressão de saturação da água, houve a necessidade da utilização de equipamentos com maior exigência estrutural e de custos mais elevados. O custo de equipamentos de processos térmicos está diretamente relacionado com a sua pressão de projeto. Por exemplo, para o caso de temperaturas de processo acima de 180 °C faz-se necessária a análise de utilização e aplicação de fluidos térmicos específicos.

A pressão de trabalho do fluido, para atender a temperatura e solicitações de processo, é condição primária a ser considerada, seguida da própria seleção do fluido térmico, que pode se tornar uma tarefa complexa, devido às considerações econômicas e técnicas inter-relacionadas. Uma incompatibilidade entre o fluido e o processo pode resultar em ineficiência operacional, redução da efetividade térmica, perdas de produção, danos ao sistema térmico em caso de FTO, necessidades de reposição gerando excessivo custo do fluido, em função de sua rápida degradação, e aumento da probabilidade de incêndios e explosões.

As desvantagens de aplicação do FTO residem na possibilidade de oxidação, combustão e em sua degradação térmica, devido a sua base ser oriunda de hidrocarbonetos. Todo fluido térmico pode sofrer degradação química com o tempo. De fato, em operação com temperaturas elevadas (> 180 °C), as ligações entre as cadeias de hidrocarbonetos podem se romper e formar outros hidrocarbonetos de cadeias curtas e longas. Ambos têm consequências para a segurança do sistema de FTO. O acúmulo de componentes leves é um risco potencial para ocorrência de incêndios, pois diminui a temperatura de ignição do FTO.

O acúmulo de produtos pesados (cadeias longas) pode resultar na formação de depósitos de carvão viscosos, denominados lamas. Da mesma forma, a oxidação também leva à formação de resíduos de carbono, que se depositam nas superfícies internas da tubulação do sistema que utiliza o FTO. Essa lama torna o sistema menos eficiente, i.e., taxas de transferência de calor são reduzidas, resultando em maiores tempo de aquecimento e menores taxas de produção. Além disso, os depósitos de carbono incrustantes propiciam locais de superaquecimento que podem causar destruição da tubulação aquecedora e nos aquecimentos elétricos, sendo outra fonte de ocorrência de incêndio (WRIGTH et al., 2015). Em uma importante discussão no artigo de Wright et al. (2015), os autores fazem uma reflexão de quais análises são fundamentais para evitar danos aos FTOs e consequentes riscos aos sistemas que os aplicam.

De um modo geral os catálogos dos fabricantes de fluidos térmicos orgânicos reportam propriedades como ponto de fulgor, viscosidade (até 100 °C), densidade (geralmente em temperatura de no máximo 40 °C), índice de acidez (mgKOH/g) e carbono residual. No entanto, o uso de fluido térmico em plantas industriais são empregados na faixa de 0 °C a 400 °C. Seria interessante informações como degradação, frações de leves e pesados, viscosidade, densidade, ponto de fluidez, ponto de fulgor numa faixa mais ampla de temperatura, visto que na maioria dos processos industriais as temperaturas são superiores a 180 °C.

Em vários trabalhos publicados na literatura (WRIGTH et al., 2015; VIGNAROUBAN, et al., 2015; WRIGTH, PICOT, BEMBRIDGE, 2015) são reportados que esses ensaios são realizados durante a utilização do FTO na planta e são retiradas amostras para a análise. Os fabricantes de FTO recomendam geralmente que um FTO seja analisado uma vez por ano (WRIGTH et al., 2015). No entanto, a partir de nosso conhecimento não há trabalhos que abordem ensaios referentes às propriedades acima citadas, em ampla faixa de temperatura, a serem realizados a partir de fluidos novos que possam indicar que o fluido apresente características adequadas para determinadas aplicações, antes mesmo de ser aplicado ao sistema. Esses ensaios e suas análises poderiam indicar as melhores opções para a implantação de um novo sistema de aquecimento de fluido térmico, evitando custos com reposição e com problemas relacionados a incêndios. Portanto, a motivação e justificativa deste trabalho é a avaliação de alguns fluidos térmicos orgânicos novos (antes de sua aplicação) em ampla faixa de temperatura (15 °C a 320 °C), no sentido de prever futuros problemas nas plantas industriais.

2. METODOLOGIA

2.1. ANÁLISE DO MERCADO BRASILEIRO PARA FTO E SUAS OPÇÕES

Tem-se como premissa que a aplicação do fluido térmico orgânico (FTO) é criticamente essencial para a capacidade de fabricação de muitos negócios. Nesta etapa, o objetivo foi identificar os setores da indústria brasileira que o utilizam como vetor de transferência de energia em suas etapas produtivas, quantidade de empresas onde é aplicado e a base de fluido térmico orgânico mais utilizada.

A sequência de análise foi desenvolvida da seguinte forma:

- a) Elaboração de uma lista de clientes da empresa OCP Engenharia com atuação na área de FTO;
- b) Identificação dos principais setores da indústria como potenciais usuários de fluidos. Foram elencados 40 segmentos industriais, utilizando a segmentação adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- c) Entrevistas com fornecedores de aquecedores de fluido térmico, bombas centrífugas e válvulas industriais específicas dessa aplicação (principais equipamentos que orientam estas instalações), os quais subsidiaram a priorização dos setores mais relevantes e com potencial de mercado;
- d) Elaboração de questionário enviado aos clientes;
- e) Emprego de análise conforme o princípio de Pareto, identificando a quantidade de segmentos industriais com maior número de instalações no mercado brasileiro e/ou volume instalado;
- f) Análise dos dados coletados e consolidação das informações obtidas;

g) Contatos com no mínimo 06 empresas, dos setores identificados e priorizados, para o aprimoramento do entendimento das necessidades do processo, característica de instalação do sistema de fluido térmico, equipamentos de consumo térmico e condições de operação quanto à temperatura, pressão, sistema de expansão, fluido térmico orgânico, vazão e volume da instalação, identificação de necessidade e itens valorizados pelos segmentos priorizados.

2.2. DEFINIÇÃO DO FLUIDO TÉRMICO ORGÂNICO A SER UTILIZADO NESTA PESQUISA

Os fluidos térmicos orgânicos eleitos foram escolhidos com base nas respostas e análises do item 2.1, que convergiu para aqueles de maior aplicação no mercado brasileiro, os de base mineral e sua opção mineral hidrogenada. Os mesmos são utilizados em processos com temperatura máxima de 300 °C. Foram escolhidos três fluidos, apresentados na Tabela 1, disponibilizados por três dos principais fornecedores atuantes no mercado brasileiro e, desta forma, o nome dos fluidos, marcas e seus fornecedores foram preservados por motivos sigilosos, sendo utilizados os nomes fictícios informados na Tabela 2.

Tabela 2- Fluidos térmicos orgânicos analisados

| Item | Composição do Fluido | Fluido | Base predominante | Tratamento Adicional | Fornecedores |
|------|-----------------------------|---------|-------------------|----------------------|--------------|
| 1 | Parafínico Hidrogenado - PH | Mineral | Parafínica | Hidrogenação | X |
| 2 | Parafínico A | Mineral | Parafínica | - | Y |
| 3 | Parafínico B | Mineral | Parafínica | - | Z |

2.3. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS ANALISADAS

Para se atingir o objetivo geral, relacionado com a condição operacional do sistema nos aspectos de influência quanto à capacidade de recalcar o fluido ou bombeamento, segurança no uso, eficiência e continuidade operacional foram realizadas as análises descritas na Tabela 3. Cada amostra de fluido foi analisada no mínimo três vezes e serão apresentados os valores médios.

Como não foram encontrados laboratórios no Brasil dedicados às análises de algumas propriedades termodinâmicas e físico-químicas no intervalo de temperatura de 15 °C a 320 °C, algumas delas foram calculadas, como: (a) condutividade térmica, (b) calor específico, (c) viscosidade dinâmica, (d) entalpia específica, (e) expansão volumétrica, e (f) n° de Prandtl. As informações de como os cálculos foram efetuados encontram-se no trabalho de COSTA (2018).

Para melhor compreensão e posterior apresentação dos resultados, inicialmente foi efetuada a comparação das propriedades dos três fluidos. Foram construídas curvas de densidade x temperatura, viscosidade x temperatura, calor específico x temperatura e condutividade x temperatura na faixa de temperatura de 15 °C a 320 °C, que são dados mais próximos à realidade das instalações e são dados inéditos com relação aos três fluidos estudados.

Tabela 3 – Análises realizadas nos FTOs e as áreas de atuação onde são necessárias

| Item | Procedimento Recomendado | Norma | Áreas de Atuação | | | |
|------|--|-------------------------|------------------|------------------|------------|--------------------------|
| | | | Bombeamento | Segurança no Uso | Eficiência | Continuidade Operacional |
| 01 | Ponto de Fulgor – Vaso Fechado | ASTM D93 ou ASTM D 3828 | X | X | | X |
| 02 | Ponto de Fulgor – Vaso Aberto | ASTM D92 | X | X | | X |
| 03 | Viscosidade Cinemática | ASTM D445 | X | | | X |
| 04 | Densidade | ASTM D4052 | X | | | |
| 05 | Residual de Água | ASTM D95 | X | | | |
| 06 | Estabilidade Térmica | ASTM D6743 DIN 51528 | | | | X |
| 07 | Insolúveis de Pentano | ASTM D893 ASTM-D4055 | | | | X |
| 08 | Resíduo de Carbono | ASTM D189 | | | | X |
| 09 | Índice de Acidez | ASTM D664 | | | | X |
| 10 | Cor | ASTM D1500 | | | | X |
| 11 | Espectroscopia de Emissão Óptica para 19 elementos | ASTM D6595 | | | | X |
| 12 | Condutividade Térmica(*) | ASTM D2717 | | X | | |
| 13 | Calor Específico(*) | ASTM D2766 | | X | | |

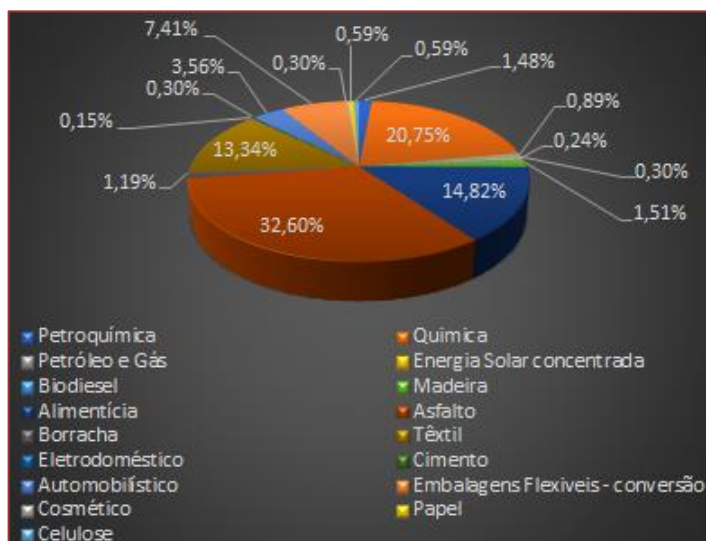
(*) Valores calculados

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ANÁLISES DO MERCADO BRASILEIRO PARA FTO E DEFINIÇÃO DO FLUIDO TÉRMICO ORGÂNICO A SER UTILIZADO NESTA PESQUISA

A partir da pesquisa realizada chegou-se a um número superior a 3.370 empresas que utilizam o FTO como meio de transferência de calor indireto, com a maior concentração dessas empresas observada na região sudeste e sul. A demanda por FTO conduz para múltiplas aplicações em distintos segmentos industriais que se concentram em seis principais sendo 32,60 % do segmento de asfalto, 20,75 % de química, 14,82 % de alimentos, 13,34 % de têxtil, 7,41 % de embalagens e 3,56 % da indústria automobilística, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Percentual de Instalações de FTO por Segmentos Industriais no Brasil



Esta ampla diversidade de segmentos industriais mostrou-se condicionada em quantidade significativa ao uso de fluido térmico orgânico de base mineral parafínica com temperatura de operação de aproximadamente 280 °C a 320 °C, faixa orientada pelos fabricantes para sua aplicação. Durante a pesquisa também foi possível constatar o interesse de algumas empresas em utilizar fluido térmico sintético, uma vez que é reportado que estes teriam uma taxa de transferência de calor (W/m^2), na faixa de trabalho de 250 °C a 275 °C superior ao fluido mineral. No entanto, em alguns casos estudados, não foi comprovada nas plantas térmicas que a durabilidade do fluido sintético e sua relação custo/benefício é maior que a do mineral hidrogenado nesta faixa operacional. Mas deve-se avaliar também a perspectiva do uso deste fluido no momento em que as plantas industriais estão em seu limite operacional, seja de geração de calor ou distribuição hidráulica. De forma geral é orientada uma discussão deste conteúdo durante a fase de projeto envolvendo tanto os fabricantes dos equipamentos quanto os fabricantes das plantas térmicas. Na pesquisa também foi constatado que em diversas plantas são utilizados fluidos de base parafínica ou naftênica, porém hidrogenados, com ampla aplicação no segmento alimentício. Este fluido apresenta custo superior ao mineral, mas não é significativo, quando comparado com o do fluido sintético. Desta forma, como a maioria das respostas indicaram a aplicação de fluidos térmicos orgânicos de base mineral e parafínica e parafínica hidrogenada, os fluidos escolhidos para este trabalho foram dois de base parafínica (fornecedores Y e Z) e um parafínico hidrogenado (fornecedor X).

3.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS ANALISADAS

Foram analisadas as propriedades físico-químicas dos três fluidos escolhidos sendo elas: densidade, ponto de fulgor, viscosidade, índice de acidez, residual de carbono, conteúdo de umidade, temperatura de autoignição, temperatura máxima de filme, temperatura máxima de operação, solúveis de pentano e análise química de 19 elementos químicos. Os resultados são apresentados na Tabela 4 para os três fluidos.

O fluido A (parafínico) apresenta-se, quando sem uso, com aparência brilhante e clara com coloração amarelada e odor característico. Observou-se que há divulgação limitada de conteúdo por parte do fabricante do fluido. Pode-se observar, também, uma diferença de 16 °C em relação ao ponto de fulgor vaso aberto determinado (216 °C) em relação ao especificado (200 °C) e de 30 °C no ponto de fulgor vaso fechado, como mostra a Tabela 4. Essa diferença está no intervalo de aproximadamente 7 % a 14 %, que se encontra dentro de tolerâncias exigidas nos projetos de engenharia das plantas industriais, sendo aceitáveis diferenças em torno de 10 % segundo a experiência do autor. A densidade reportada é de 867,5 kg/m³ a 20 °C.

Os valores medidos de índice de acidez e residual de carbono são inferiores aos reportados nos catálogos do fabricante, o que implica em resultado melhor do que o esperado. Esses dados são típicos de fluidos térmicos orgânicos de base mineral (WRIGHT, 2014).

Os valores de viscosidade cinemática a 40 °C (média de 31 mm²/s entre medido e catalogado) está dentro do intervalo especificado por Wright et al. (2014 e 2015). Há uma queda da viscosidade com o aumento de temperatura, com valores medidos e catalogados similares.

Como os fluidos elencados podem ser utilizados em temperaturas próximas de 300 °C, torna-se interessante por parte dos fornecedores a apresentação de informações dedicadas neste intervalo, portanto a partir de dados medidos, indicados pelos fabricantes e disponibilizados pela OCP Engenharia foram calculadas as propriedades, como densidade, calor específico, viscosidade cinemática, condutividade térmica, entalpia específica, expansão volumétrica e número de Prandtl em temperaturas no intervalo de 15 °C a 320 °C em função das condições de trabalho dos sistemas obtidos dessa pesquisa e que utilizam os fluidos A, B e PH nessa faixa de temperatura (Tabelas 5, 6, 7). Oyekunle e Susu (2005) reportam valores de 0,72 kcal/kg°C para calor específico e de 0,131 kcal/m.h.°C (0,152 W/m.°C) para condutividade térmica de um óleo parafínico a 350 °C, valores próximos aos apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7 para o fluido de base parafínica à 320 °C, indicando uma boa correlação entre dados medidos e calculados.

Tabela 4: Propriedades medidas e catalogadas dos fluidos A, B e PH

| Propriedades | Fluido A | | Fluido B | | Fluido PH | |
|---|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| | Novo | Catálogo | Novo | Catálogo | Novo | Catálogo |
| Conteúdo de Umidade (ppm) | 126 | - | 165 | - | 111 | - |
| Ponto Fulgor - Vaso Aberto | 216 | 200 | 216 | 220 | 228 | > 240 |
| Ponto Fulgor -Vaso Fechado | 210 | 180 | 210 | 210 | 218 | > 210 |
| Temp.Auto-Ignicção (°C) | 380 | - | 360 | - | 371 | - |
| Temp. Máxima de Filme (°C) | - | - | 340 | - | 343 | - |
| Temp. Máxima de Operação (°C) | 316 | - | 320 | - | 310 | - |
| Viscosidade Cinemática (mm ² /s) 20°C | 83,29 | - | 80,66 | 75,00 | 121,47 | - |
| Viscosidade Cinemática (mm ² /s) 40°C | 30,97 | 32,00 | 30,18 | 25,00 | 42,28 | 39,00 |
| Viscosidade Cinemática (mm ² /s) 60°C | 14,72 | - | 14,40 | 13,50 | 19,08 | - |
| Viscosidade Cinemática (mm ² /s) 80°C | 8,32 | - | 8,18 | 7,90 | 10,41 | - |
| Viscosidade Cinemática (mm ² /s) 100°C | 5,31 | 5,20 | 5,22 | 4,70 | 6,46 | 6,40 |
| Densidade (kg/m ³) 20°C | 867,5 | - | 869,1 | 863,0 | 862,3 | 863,0 |
| Densidade (kg/m ³) 30°C | 861,2 | - | 862,6 | 850,0 | - | - |
| Densidade (kg/m ³) 40°C | 854,8 | - | 856,3 | - | 849,8 | - |
| Densidade (kg/m ³) 50°C | 848,5 | - | 850,0 | - | 843,6 | - |
| Índice de Acidez mgKOH/g | 0,02 | 0,05 | 0,02 | < 0,05 | 0,01 | - |
| Insolúveis de Pentano (%) | < 0,01 | - | 0,04 | - | 0,09 | - |
| Residual de Carbono Conradson (% massa) | < 0,01 | 0,05 | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | - |
| Análise química (ppm) | Fe | ND | - | ND | - | ND |
| | Cr | ND | - | ND | - | ND |
| | Pb | 1,0 | - | ND | - | 1,0 |
| | Cu | ND | - | ND | - | ND |
| | Sn | ND | - | ND | - | ND |
| | Al | ND | - | ND | - | ND |
| | Ni | ND | - | ND | - | ND |
| | Ag | ND | - | ND | - | ND |
| | Si | ND | - | ND | - | ND |
| | B | ND | - | ND | - | ND |
| | Na | ND | - | ND | - | ND |
| | Mg | ND | - | ND | - | ND |
| | Ca | ND | - | ND | - | ND |
| | Ba | ND | - | ND | - | ND |
| | P | 4,0 | - | ND | - | 5,0 |
| | Zn | ND | - | ND | - | ND |
| | Mo | ND | - | ND | - | ND |
| | Ti | ND | - | ND | - | ND |
| | V | ND | - | ND | - | ND |

Outras propriedades analisadas foram o conteúdo de umidade (126 ppm), insolúveis de pentano (< 0,01 %), índice de acidez (0,02 mgKOH/g) e análise de 19 elementos que apresentou indicação de chumbo (Pb) em 1 ppm quanto à classe de metais de desgaste e fósforo (P) de 4 ppm quanto à classe de carga aditiva e não foram indicados valores para contaminantes (Tabela 4). Tais valores são considerados satisfatórios.

O fluido B, também parafínico, apresenta-se em condição similar ao fluido A, porém de fabricante diferente. A partir dos dados obtidos de ensaios com referências dos laboratórios em comparação aos obtidos em catálogos do fabricante, foram obtidos dados que apresentaram ponto de fulgor medido (216 °C) e o reportado (220 °C), densidade 869,1 kg/m³ a 20 °C, índice de acidez e residual de carbono dentro das tolerâncias de projeto e são similares aos dos fluidos A. Os valores medidos de ponto de fulgor tanto em vaso aberto quanto em fechado são idênticos para ambos os fluidos A e B (216 °C e 210 °C). A viscosidade cinemática tem variações da ordem de 7 % a 17 % entre 20 °C e 100 °C quando comparados os valores medidos e os catalogados. A análise de espectroscopia de emissão atômica revelou ausência de Pb e P que foram determinados no fluido A.

Assim como para o fluido A, foram calculadas para o fluido B as propriedades como densidade, calor específico, viscosidade cinemática, condutividade térmica, entalpia específica, expansão volumétrica e número de Prandtl, também no intervalo de 15 °C a 320 °C, e não foram observadas diferenças significativas nas propriedades físicas e termodinâmicas entre os fluidos A e B (Tabelas 5 e 6).

O fluido PH é parafínico hidrogenado e apresenta-se quando sem uso com aparência incolor e inodora, característica do tratamento de hidrogenação, o qual a partir da eliminação das cadeias duplas de carbono

e do enxofre, evita o escurecimento por oxidação e presença da luz, mantendo-o mais claro, em relação aos fluidos A e B.

Assim como nos fluidos anteriores, foram obtidos dados a partir dos ensaios com referências dos laboratórios e comparados aos obtidos em catálogos do fabricante. O ponto de fulgor vaso aberto foi medido obtendo-se o valor de 228 °C que é inferior ao especificado pelo fabricante, mas está dentro das tolerâncias quanto à variação de origem do óleo e/ou petróleo e de projeto de plantas térmicas. Os pontos de fulgor (vaso fechado e aberto) são 12 °C e 18 °C superiores aos fluidos A e B, respectivamente, e a viscosidade cinemática a 20 °C é aproximadamente 30 % superior ao dos fluidos sem tratamento de hidrogenação, o que indica que a quebra das duplas ligações resultam em cadeias maiores e um pouco mais estáveis, dificultando a formação de moléculas com baixo peso molecular que poderiam diminuir o ponto de fulgor.

A densidade do fluido PH é de aproximadamente 862 kg/m³ a 20 °C. A temperatura de autoignição (371 °C) é praticamente semelhante ao do fluido A (380 °C) e do fluido B (360 °C), assim como as temperaturas máximas de filme e as de operação citadas (316 °C para fluido A, 320 °C para o B e o 310 °C para o fluido PH).

A análise de espectroscopia de emissão atômica apresentou indicação de chumbo (Pb) em 1 ppm, na classe de metais de desgastes não sendo indicados valores para os metais de aditivização ou contaminantes.

Foram calculadas as propriedades como densidade, calor específico, viscosidade cinemática, condutividade térmica, expansão volumétrica e número de Prandtl para o fluido PH, no mesmo intervalo de temperatura utilizado para os fluidos A e B (15 °C e 320 °C), apresentadas na Tabela 7.

Tabela 5: Propriedades físicas e termodinâmicas calculadas do Fluido A em função da temperatura

| Temperatura (°C) | Propriedades Medidas | | | Propriedades Calculadas | | | | |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Densidade Kg/m ³ | Calor Específico Kcal/(kg°C) | Viscosidade Cinemática mm ² /s | Condutividade Térmica W/m°C | Entalpia Específica kJ/kg | Viscosidade Dinâmica mPa.s | Expansão Volumétrica 1/K | Número Prandtl |
| 15 | 870,59 | 0,4457 | 151,7351 | 0,1344 | 30,98 | 132,10 | 0,00079 | 1832,14 |
| 20 | 867,50 | 0,4500 | 83,2900 | 0,1341 | 31,49 | 72,25 | 0,00079 | 1014,66 |
| 30 | 861,20 | 0,4587 | 46,7020 | 0,1333 | 62,78 | 40,22 | 0,00080 | 758,88 |
| 40 | 854,8 | 0,4674 | 30,9700 | 0,1326 | 84,44 | 26,47 | 0,00080 | 390,40 |
| 50 | 848,50 | 0,4761 | 19,5971 | 0,1319 | 106,46 | 16,63 | 0,00081 | 251,16 |
| 60 | 842,06 | 0,4848 | 14,7200 | 0,1312 | 128,85 | 12,40 | 0,00082 | 191,71 |
| 75 | 832,55 | 0,4979 | 9,8364 | 0,1301 | 163,11 | 8,19 | 0,00083 | 131,17 |
| 80 | 829,38 | 0,5022 | 8,3210 | 0,1297 | 174,71 | 6,90 | 0,00083 | 111,82 |
| 100 | 816,70 | 0,5196 | 5,3100 | 0,1282 | 222,04 | 4,34 | 0,00084 | 73,53 |
| 110 | 810,36 | 0,5283 | 3,9255 | 0,1275 | 266,24 | 3,18 | 0,00085 | 55,15 |
| 150 | 785,00 | 0,5632 | 1,9500 | 0,1246 | 346,72 | 1,53 | 0,00088 | 28,95 |
| 200 | 753,30 | 0,6067 | 1,2000 | 0,1209 | 480,51 | 0,90 | 0,00091 | 18,97 |
| 250 | 721,60 | 0,6502 | 0,8500 | 0,1173 | 632,41 | 0,61 | 0,00095 | 14,23 |
| 260 | 715,26 | 0,6589 | 0,7994 | 0,1165 | 653,090 | 0,57 | 0,00096 | 13,53 |
| 270 | 708,92 | 0,6676 | 0,7455 | 0,1158 | 683,12 | 0,53 | 0,00097 | 12,75 |
| 280 | 702,58 | 0,6763 | 0,6970 | 0,1151 | 713,53 | 0,49 | 0,00098 | 12,04 |
| 300 | 689,90 | 0,6937 | 0,6500 | 0,1136 | 775,42 | 0,45 | 0,00100 | 11,46 |
| 310 | 683,56 | 0,7024 | 0,5774 | 0,1129 | 806,92 | 0,39 | 0,00100 | 10,27 |
| 315 | 680,39 | 0,7068 | 0,5605 | 0,1125 | 822,80 | 0,38 | 0,00101 | 10,02 |
| 320 | 677,22 | 0,7111 | 0,5000 | 0,1122 | 838,78 | 0,34 | 0,00101 | 8,98 |

Tabela 6: Propriedades físicas e termodinâmicas calculadas do Fluido B em função da temperatura

| Temperatura (°C) | Propriedades Medidas | | | | Propriedades Calculadas | | | |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Densidade Kg/m ³ | Calor Específico Kcal/(kg°C) | Viscosidade Cinemática mm ² /s | Condutividade Térmica W/m°C | Entalpia Específica kJ/kg | Viscosidade Dinâmica mPa.s | Expansão Volumétrica 1/K | Número Prandtl |
| 15 | 872,16 | 0,4453 | 146,4646 | 0,1342 | 30,97 | 127,74 | 0,00079 | 1773,28 |
| 20 | 869,10 | 0,4496 | 80,6600 | 0,1338 | 41,47 | 70,10 | 0,00079 | 985,32 |
| 30 | 862,60 | 0,4583 | 45,3933 | 0,1331 | 62,76 | 39,16 | 0,00080 | 564,08 |
| 40 | 856,30 | 0,4670 | 30,1800 | 0,1324 | 84,41 | 25,84 | 0,00080 | 381,45 |
| 50 | 850,00 | 0,4757 | 19,1455 | 0,1317 | 106,42 | 16,27 | 0,00081 | 246,03 |
| 60 | 843,54 | 0,4844 | 14,4000 | 0,1309 | 128,79 | 12,15 | 0,00081 | 188,04 |
| 75 | 834,00 | 0,4974 | 9,6488 | 0,1298 | 163,04 | 8,05 | 0,00082 | 129,00 |
| 80 | 830,82 | 0,5018 | 8,1810 | 0,1295 | 174,64 | 6,80 | 0,00083 | 110,22 |
| 100 | 818,10 | 0,5192 | 5,2190 | 0,1280 | 221,94 | 4,27 | 0,00084 | 72,46 |
| 110 | 811,74 | 0,5279 | 4,0881 | 0,1273 | 246,13 | 3,32 | 0,00085 | 57,59 |
| 150 | 786,30 | 0,5627 | 2,1181 | 0,1244 | 346,56 | 1,67 | 0,00087 | 31,53 |
| 200 | 754,50 | 0,6061 | 1,1510 | 0,1207 | 480,28 | 0,87 | 0,00091 | 18,25 |
| 250 | 722,70 | 0,6496 | 0,7172 | 0,1171 | 623,11 | 0,52 | 0,00095 | 12,03 |
| 260 | 716,34 | 0,6583 | 0,6600 | 0,1163 | 652,76 | 0,47 | 0,00096 | 11,19 |
| 270 | 709,98 | 0,6670 | 0,6092 | 0,1156 | 682,78 | 0,43 | 0,00097 | 10,44 |
| 280 | 703,62 | 0,6757 | 0,5640 | 0,1149 | 713,17 | 0,40 | 0,00098 | 9,77 |
| 300 | 690,90 | 0,6931 | 0,4873 | 0,1134 | 775,03 | 0,34 | 0,00099 | 8,61 |
| 310 | 684,54 | 0,7018 | 0,4546 | 0,1127 | 806,51 | 0,31 | 0,00100 | 8,11 |
| 315 | 681,36 | 0,7061 | 0,4394 | 0,1123 | 822,39 | 0,30 | 0,00101 | 7,87 |
| 320 | 678,18 | 0,7105 | 0,4250 | 0,1120 | 838,35 | 0,29 | 0,00101 | 7,65 |

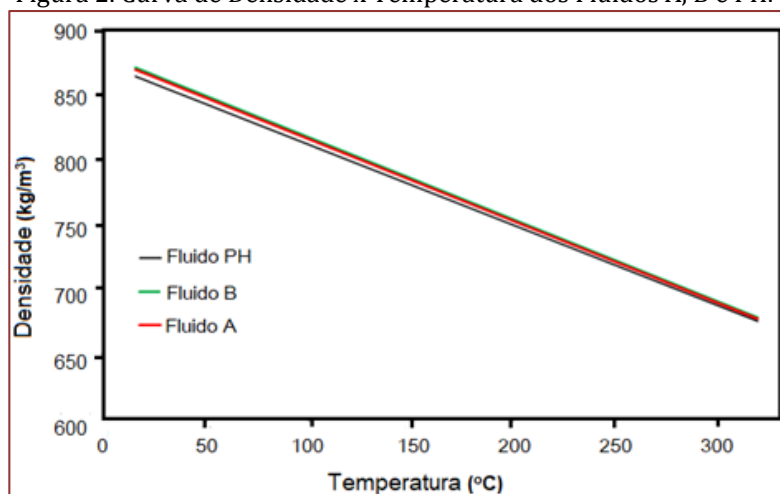
Tabela 7 - Propriedades físicas e termodinâmicas calculadas do Fluido PH em função da temperatura

| Temperatura (°C) | Propriedades Medidas | | | | Propriedades Calculadas | | | |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Densidade Kg/m ³ | Calor Específico Kcal/(kg°C) | Viscosidade Cinemática mm ² /s | Condutividade Térmica W/m°C | Entalpia Específica kJ/kg | Viscosidade Dinâmica mPa.s | Expansão Volumétrica 1/K | Número Prandtl |
| 15 | 865,36 | 0,4470 | 224,5766 | 0,1353 | 31,02 | 194,34 | 0,00079 | 2312,18 |
| 20 | 862,30 | 0,4514 | 121,4700 | 0,1349 | 41,55 | 104,74 | 0,00080 | 1261,80 |
| 30 | 856,00 | 0,4601 | 63,3848 | 0,1342 | 62,87 | 54,26 | 0,00080 | 669,91 |
| 40 | 849,80 | 0,4688 | 42,2800 | 0,1334 | 84,56 | 35,93 | 0,00081 | 669,91 |
| 50 | 843,60 | 0,4776 | 24,9523 | 0,1327 | 106,61 | 21,05 | 0,00081 | 272,75 |
| 60 | 837,32 | 0,4863 | 19,0800 | 0,1319 | 129,03 | 15,98 | 0,00082 | 211,96 |
| 75 | 827,98 | 0,4994 | 11,9054 | 0,1308 | 163,35 | 9,86 | 0,00083 | 135,44 |
| 80 | 824,85 | 0,5038 | 10,4100 | 0,1305 | 174,97 | 8,59 | 0,00083 | 119,35 |
| 100 | 812,40 | 0,5212 | 6,4560 | 0,1290 | 222,36 | 5,24 | 0,00085 | 76,28 |
| 110 | 806,17 | 0,5299 | 5,9182 | 0,1283 | 246,61 | 4,77 | 0,00087 | 70,96 |
| 150 | 781,25 | 0,5649 | 3,3602 | 0,1253 | 347,25 | 2,63 | 0,00088 | 42,59 |
| 200 | 750,10 | 0,6085 | 1,9877 | 0,1217 | 481,28 | 1,49 | 0,00092 | 26,85 |
| 250 | 718,95 | 0,6522 | 1,3228 | 0,1180 | 624,44 | 0,95 | 0,00096 | 18,92 |
| 260 | 712,72 | 0,6609 | 1,2314 | 0,1173 | 654,17 | 0,88 | 0,00096 | 17,81 |
| 270 | 706,49 | 0,6696 | 1,1495 | 0,1165 | 684,26 | 0,81 | 0,00097 | 16,80 |
| 280 | 700,26 | 0,6783 | 1,0756 | 0,1158 | 714,72 | 0,75 | 0,00098 | 15,89 |
| 300 | 687,80 | 0,6958 | 0,9484 | 0,1143 | 776,74 | 0,65 | 0,00100 | 14,29 |
| 310 | 681,57 | 0,7045 | 0,8933 | 0,1136 | 808,30 | 0,61 | 0,11101 | 13,60 |
| 315 | 678,46 | 0,7089 | 0,8876 | 0,1132 | 824,21 | 0,59 | 0,00101 | 13,27 |
| 320 | 675,34 | 0,7133 | 0,8430 | 0,1128 | 840,22 | 0,57 | 0,00102 | 12,96 |

3.3. COMPARAÇÃO ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FLUIDO A, B E PH

Neste item estão correlacionadas as propriedades básicas entre os fluidos dos diversos fornecedores. Os fluidos em uso possuem suas bases predominantemente parafínicas, porém apresentam em seu óleo básico especificações diferenciadas obtidas conforme sua rota de produção, conferindo aos fluidos diferentes características de comportamento quando aquecidos. De acordo com as categorias de base da API os fluidos A e B são do Grupo I e o fluido PH do Grupo II. Observou-se que as curvas de densidade dos fluidos quase que se interpõem devido à predominância da base parafínica. A diferença de densidade na temperatura de 250 °C entre o fluido B e o A é de 0,15 % (Figura 2). Entre o fluido B e o PH é de 0,52 % e entre o fluido A e o PH é de 0,37 %.

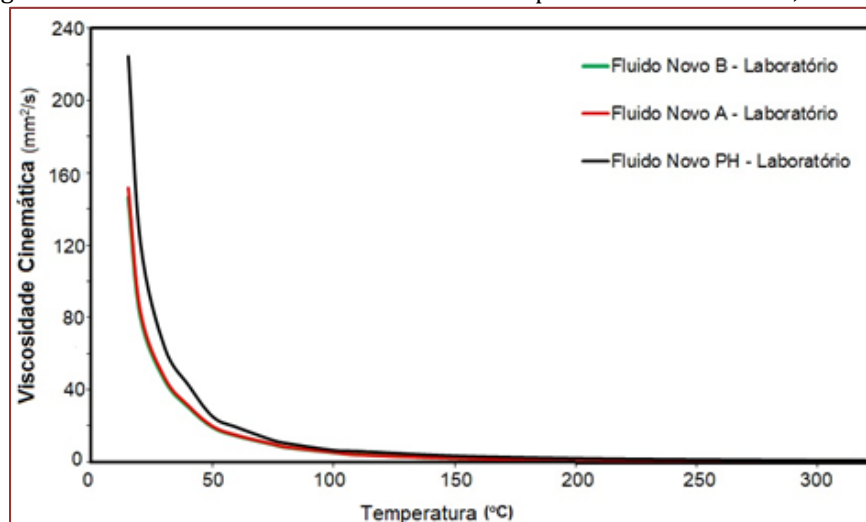
Figura 2. Curva de Densidade x Temperatura dos Fluidos A, B e PH.



É possível observar que as curvas de viscosidade cinemática (Figura 3) quase se sobrepõem em valores de temperatura acima de 150 °C, porém para valores de temperatura inferiores, o fluido PH possui maiores valores e o fluido B os menores valores. Tal condição orienta para pontos de atenção na escolha do fluido, quando da determinação da potência das bombas centrífugas em condição de partida dos sistemas, onde o fluido está em temperatura ambiente e será exigida uma maior potência para o fluido PH, menor para o fluido A e menor ainda para o B.

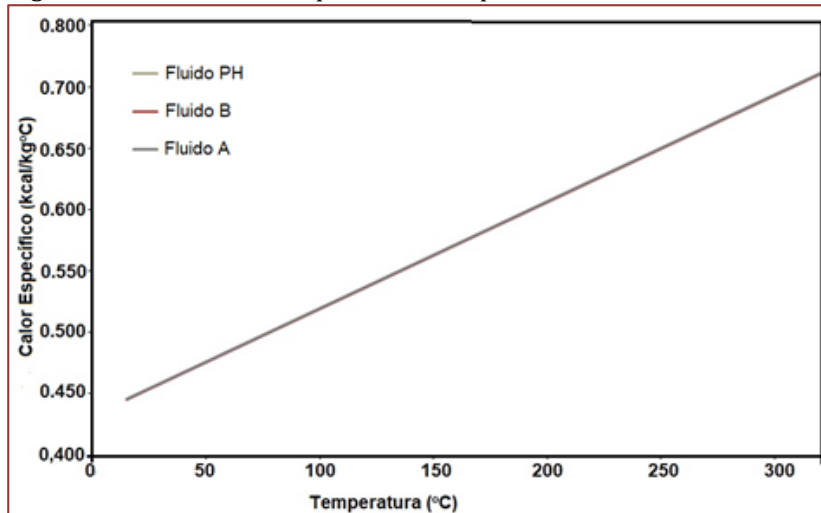
Com relação à viscosidade cinemática, os valores a 40 °C dos fluidos A, B e PH são respectivamente de 32,00 mm²/s, 25,00 mm²/s e 39,00 mm²/s (Tabela 4), considerando-se os dados de catálogo, e 30,98 mm²/s, 30,18 mm²/s e 42,28 mm²/s com relação aos valores medidos nesse trabalho (Tabela 4). É possível observar um aumento dos valores de viscosidade cinemática do fluido PH em relação ao A e ao B. Para uma temperatura de 250 °C a diferença entre os valores de viscosidade é de 15,62 % entre os fluidos B e o A; de 45,78 % entre B e PH, e de 35,74 % entre o A e o PH. As oscilações de viscosidade influenciam de forma direta na definição de vazão e em seus correlatos como número de Reynolds, perda de carga, potência do motor da bomba entre outras propriedades.

Figura 3. Curva de Viscosidade Cinemática x Temperatura dos Fluidos A, B e PH.



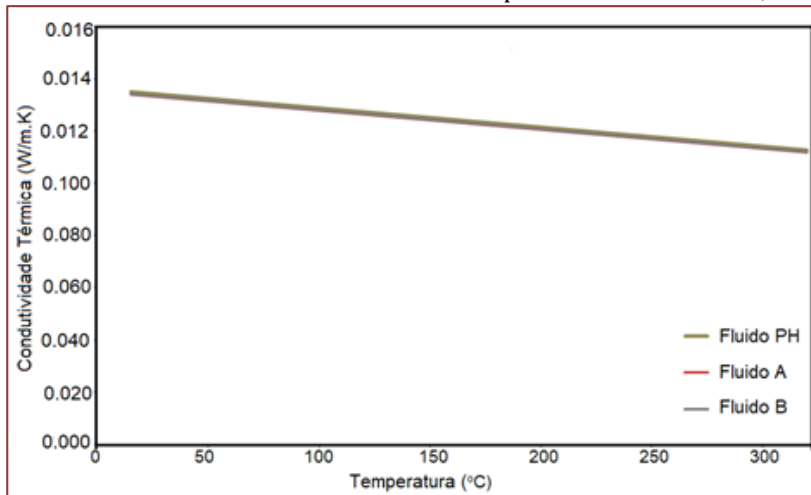
No caso da relação entre calor específico e temperatura, as curvas dos três fluidos térmicos (Figura 4) se superpõem em quase toda a extensão. A diferença entre os valores apresentados é de 0,09 % entre o B e o A, 0,40 % entre o B e o PH, e 0,31 % entre A e o PH na temperatura de 250 °C, sendo a diferença insignificante e quando a referência é transferida para o sistema térmico a variação é assumida pelas tolerâncias dos componentes que os inclui.

Figura 4: Curva de Calor Especifico x Temperatura dos Fluidos A, B e PH.



O comportamento das curvas de condutividade térmica em função da temperatura é mostrado na Figura 5. Pode-se observar que as curvas se superpõem em quase toda a extensão. A diferença entre os valores apresentados é de 0,17 % entre o B e o A, 0,76 % entre o B e PH, e 0,59 % entre o A e o PH a uma temperatura de 250 °C, sendo esta diferença também insignificante. Quando a referência é transferida para o sistema térmico a variação é assumida pelas tolerâncias dos componentes que os inclui.

Figura 5. Curva de Condutividade Térmica x Temperatura dos Fluidos A, B e PH



Ao analisar as propriedades dos três fluidos, observou-se que as propriedades como resíduo de água, insolúveis de pentano e resíduo de carbono são bons indicadores de possíveis contaminações, oxidação e estresse térmico. No entanto, esses valores são muito próximos para os três fluidos e não possibilitam indicar qual sofreria maior dano quando em uso durante o processo.

A análise de espectroscopia no infravermelho teve como objetivo identificar e confirmar a base do fluido térmico, assim como a possibilidade de oxidação do mesmo, a partir de bandas específicas correspondentes às ligações químicas dos constituintes do fluido principalmente C-H e C-C. Desta forma a análise comparativa entre os três fluidos permitiu indicar qual é o que apresenta menor tendência à oxidação e ao envelhecimento.

Os espectros de infravermelho (Figuras 6 e 7) mostram a presença de bandas de elevada intensidade características de parafina como as bandas em 2933 cm⁻¹, 2864 cm⁻¹, 1462 cm⁻¹ atribuídas aos grupos -

CH₂ de alcanos lineares (DUNCKE, 2015) e a banda em 1372 cm⁻¹ a grupos -CH₃ (SANCHES et al., 2015). Mas, também apresentam bandas de baixa intensidade próximo a 1600 cm⁻¹ correspondentes à C=C, e em 810 cm⁻¹ e 750 cm⁻¹ devido à presença de grupos aromáticos policíclicos e substituídos (WANG et al., 2013).

A Figura 7 mostra os espectros de infravermelhos na região de 600 cm⁻¹ a 1800 cm⁻¹, com ênfase nas diferenças dos espectros entre os três fluidos, atribuídas às duplas ligações (TORRES et al., 2010) que podem reagir com O₂ formando produtos de oxidação resultando em deterioração do fluido. O fluido PH por ter passado pelo processo de hidrogenação não apresenta compostos com ligações duplas, que é um bom indicio de estabilidade à oxidação.

Figura 6. Espectros de infravermelho dos fluidos PH, A e B.

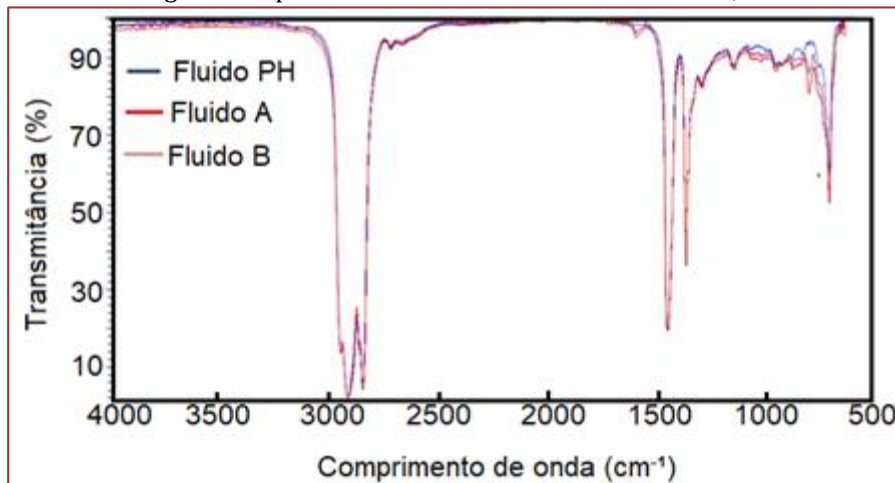
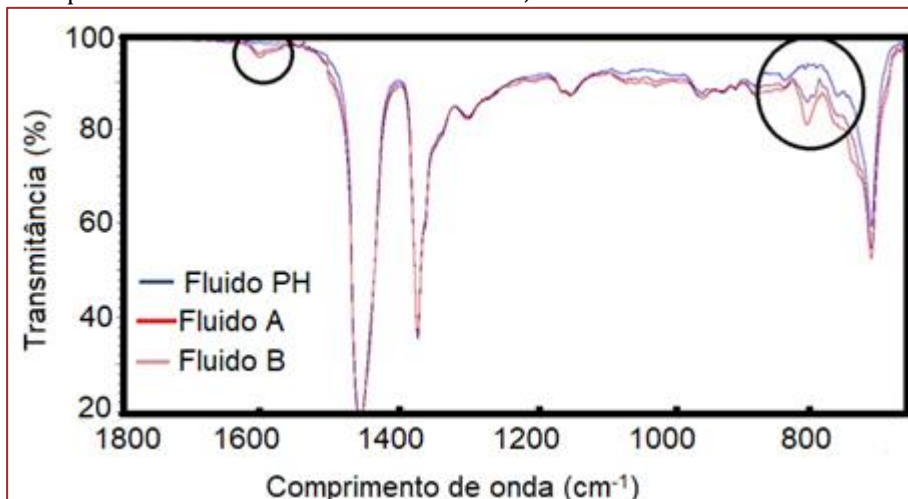


Figura 7. Espectros de infravermelho dos fluidos PH, A e B no intervalo de 1800 cm⁻¹ a 600 cm⁻¹

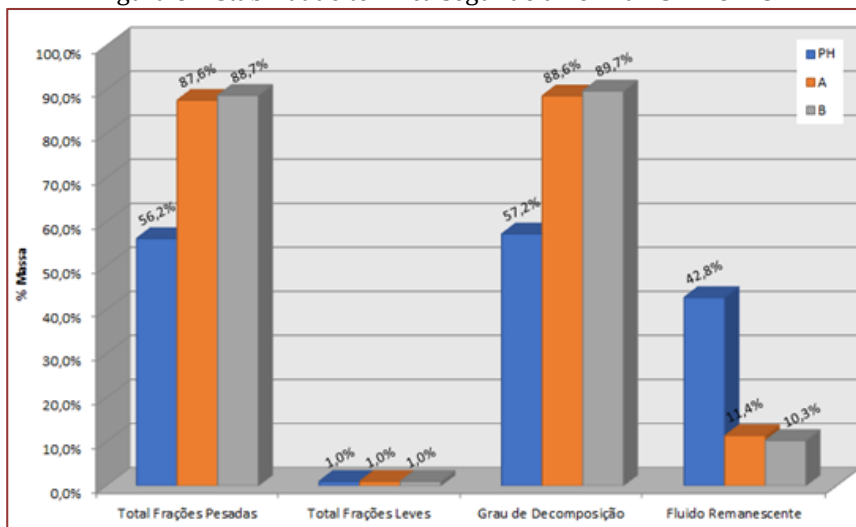


Com relação à estabilidade térmica as condições de realização do ensaio consideram os parâmetros que seguem em obediência às orientações da norma ASTM D 6743 (2015) e complemento com a ASTM D 2887 (2016) para identificação e confirmação da curva de destilação determinando os pontos de ebulição inicial e final. A temperatura de teste foi de 280 °C, a duração do ensaio foi de 500 h, e faixa do ponto de ebulição medido e comparado os valores com o fluido estressado. Este método fornece informações que podem ajudar a decidir sobre o uso ideal de um fluido, sendo utilizado como um fator no processo de tomada de decisão para a seleção do fluido térmico orgânico.

Os resultados deste ensaio (Figura 8) consideram que quanto menor o grau de decomposição, à mesma temperatura e duração do teste de um fluido de transferência de calor, maior é a estabilidade térmica do

produto. Desta forma, tem-se por conclusão que o grau de decomposição do fluido PH se apresenta menor que o do fluido A e do B, tendo o fluido PH maior estabilidade térmica que os demais. Este resultado também pode ser traduzido na quantidade de fluido remanescente, sendo para o fluido PH mais que o dobro dos fluidos A e B.

Figura 8. Estabilidade térmica segundo a norma ASTM 6743.



Realizou-se então a comparação de capacidade de transferência de calor entre os fluidos. Para estabelecer esta análise define-se a mínima velocidade requerida para manter o completo desenvolvimento do fluxo em regime turbulento, sendo assumida a ocorrência do número de Reynolds de 8.000, através de uma tubulação ASTM – A106 GrB, diâmetro 3/4” (20,93 mm), Sched 40. O número de Prandtl, o número Nusselt e coeficiente de troca térmica são os valores a serem estabelecidos.

Os valores apresentados para os fluidos de mesma base mineral parafínica para temperaturas entre 250 °C a 280 °C são muito próximos (Tabela 8). Apesar de o fluido PH apresentar maior valor em termos de propriedades que os fluidos A e B, como coeficiente de troca térmica, número de Nusselt, e número de Prandtl, neste intervalo de temperatura, os valores estão entre 10 % e 17 % em relação aos fluidos A e B, sendo a maioria absorvidos pelas tolerâncias que compõem as instalações.

Tabela 8: Comparação de efetividade de troca térmica entre os fluidos

| Temp. °C | Fluido PH | | | Fluido A | | | Fluido B | | |
|----------|-----------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|
| | Coef. de Troca Kcal/H m² °C | Nº Nusselt | Nº Prandtl | Coef. de Troca Kcal/H m² °C | Nº Nusselt | Nº Prandtl | Coef. de Troca Kcal/H m² °C | Nº Nusselt | Nº Prandtl |
| 15 | 3.757,60 | 675,79 | 2312,18 | 3.403,05 | 615,72 | 1832,14 | 3.352,84 | 607,73 | 1773,28 |
| 20 | 2.941,14 | 530,39 | 1261,80 | 2.679,37 | 486,10 | 1014,66 | 2.643,33 | 480,43 | 985,32 |
| 30 | 2.270,66 | 411,72 | 669,91 | 2.128,96 | 388,36 | 578,88 | 2.103,22 | 384,36 | 564,08 |
| 40 | 1.933,67 | 352,55 | 454,52 | 1.808,62 | 331,74 | 390,40 | 1.788,70 | 328,68 | 381,45 |
| 50 | 1.567,71 | 287,41 | 272,75 | 1.507,74 | 278,09 | 251,16 | 1.492,65 | 275,80 | 246,03 |
| 60 | 1.409,47 | 259,84 | 211,96 | 1.345,83 | 249,61 | 191,71 | 1.333,06 | 247,69 | 188,04 |
| 75 | 1.168,43 | 217,22 | 135,44 | 1.146,62 | 214,45 | 131,17 | 1.136,97 | 213,03 | 129,00 |
| 80 | 1.107,66 | 206,50 | 119,35 | 1.072,68 | 201,19 | 111,82 | 1.064,63 | 200,04 | 110,22 |
| 100 | 915,66 | 172,65 | 76,28 | 896,87 | 170,13 | 73,53 | 890,01 | 169,13 | 72,46 |
| 110 | 884,48 | 167,73 | 70,96 | 794,86 | 151,64 | 55,15 | 807,26 | 154,29 | 57,59 |
| 150 | 704,60 | 136,75 | 42,59 | 600,16 | 117,18 | 28,95 | 619,86 | 121,25 | 31,53 |
| 200 | 568,65 | 113,70 | 26,85 | 491,97 | 98,96 | 18,97 | 483,45 | 97,42 | 18,25 |
| 250 | 479,49 | 98,86 | 18,92 | 425,22 | 88,20 | 14,23 | 396,95 | 82,48 | 12,03 |
| 260 | 465,06 | 96,48 | 17,81 | 414,10 | 86,43 | 13,53 | 383,22 | 80,13 | 11,19 |
| 270 | 451,51 | 94,26 | 16,80 | 401,85 | 84,40 | 12,75 | 370,36 | 77,93 | 10,44 |
| 280 | 438,72 | 92,17 | 15,89 | 390,32 | 82,50 | 12,04 | 358,32 | 75,87 | 9,77 |
| 300 | 415,23 | 88,36 | 14,29 | 377,76 | 80,87 | 11,46 | 336,35 | 72,14 | 8,61 |
| 310 | 404,39 | 86,61 | 13,60 | 359,34 | 77,43 | 10,27 | 326,29 | 70,43 | 8,11 |
| 315 | 399,17 | 85,77 | 13,27 | 354,64 | 76,66 | 10,02 | 321,45 | 69,61 | 7,87 |
| 320 | 394,08 | 84,95 | 12,96 | 338,33 | 73,38 | 8,98 | 316,76 | 68,82 | 7,65 |

Em suma, o objetivo geral desta pesquisa foi estabelecer uma abordagem sistêmica e comparativa que permitisse considerar as propriedades específicas do meio de transferência de calor, o FTO, para garantir uma operação segura em plantas térmicas que o utilizam em fase líquida. A abordagem foi realizada por meio de métodos analíticos de FTOs, com análise e interpretação dos efeitos destes junto aos componentes do sistema térmico, que pode ser dividido por suas necessidades de operação, consistindo em Capacidade de recalcar o fluido ou bombeamento, Segurança no uso, Eficiência e Continuidade Operacional.

As propriedades que estão relacionadas com a capacidade de recalque são a densidade, a viscosidade, o ponto de fulgor, e o residual de água (ou residual de humidade) e a pressão de vapor. Observando as curvas de densidade em função da temperatura, elas não apresentam diferenças significativas entre os três fluidos principalmente em temperaturas acima de 180 °C, portanto, olhando para esta propriedade não haveria diferença na utilização de qualquer um dos fluidos desde que fossem utilizados nas mesmas temperaturas.

Com relação à curva de viscosidade x temperatura também não se percebe diferenças significativas em temperaturas acima de 150 °C, havendo praticamente sobreposição das curvas dos três fluidos. No caso da viscosidade, haveria diferenças significativas na utilização em baixas temperaturas. Neste caso, deve haver atenção cuidadosa na orientação para a escolha do fluido quando da determinação da potência das bombas centrífugas em condição de partida dos sistemas, onde o fluido está em temperatura ambiente e será exigida uma potência maior para o fluido PH, menor para o fluido A e menor ainda para o B.

Os pontos de fulgor do fluido A, do fluido B e do fluido PH são praticamente iguais, assim como o residual de umidade para os três fluidos, que não impactam em diferenças tão significativas no comportamento de bombeamento. Assim, quando se trata dessas propriedades não se observa diferenças que tendam para a escolha de um determinado fluido. Todos os três estão com especificações adequadas para bombeamento do fluido, quando utilizado em temperaturas acima de 180 °C.

As propriedades que estão relacionadas com a segurança de uso são a temperatura de autoignição, ponto de fulgor e corrosão. As temperaturas de autoignição determinadas para os fluidos foram: A (380 °C), B (360 °C) e PH (371 °C). Esses valores não ultrapassam a diferença de 10 % toleradas em projetos de instalação de plantas e, portanto, não são consideradas significativas entre os três fluidos. Como mencionado anteriormente, o ponto de fulgor também não apresenta diferenças significativas. No entanto, o resultado da análise de corrosão faz toda a diferença quando se compara os espectros de infravermelho para os três fluidos, e observa-se que a ausência da banda em 1600 cm^{-1} e 810 cm^{-1} indicam que o fluido PH é mais resistente à corrosão do que os fluidos A e B.

As propriedades que estão relacionadas com a eficiência são condutividade térmica e calor específico. A condutividade térmica para os fluidos A, B e PH tem suas curvas sobrepostas em toda a extensão do gráfico. A diferença entre os valores apresentados é de 0,17 % entre o B e o A; 0,76 % entre B e o PH; e 0,59 % entre A e o PH a temperatura de 250 °C, sendo insignificante. Os valores de calor específico para os fluidos A, B e PH se superpõem em quase toda a extensão.

Para os fluidos em análise, as avaliações demonstraram que as taxas de transferência de calor apresentam reduzida influência no conteúdo de escolha, visto as vantagens obtidas nos números absolutos das propriedades termodinâmicas entre eles serem pequenas e serem absorvidas pelas tolerâncias dos componentes que compõem a instalação, além de em alguns casos, da própria ineficiência operacional da planta térmica que aumenta com o passar dos anos.

As propriedades que estão relacionadas com a continuidade operacional são ponto de fulgor, viscosidade cinemática, estabilidade térmica, insolúveis em pentano, resíduo de carbono, destilação, índice de acidez, cor e presença de elementos metálicos. Todos os itens apresentam variações insignificantes entre os três fluidos na condição de novo, porém quando se considera o ensaio de estabilidade térmica tem-se que o fluido PH apresentou grau de decomposição de 57,2 %, contra 88,6 % do fluido A e 89,7 % do fluido B. Esta condição mostra que o fluido remanescente do PH foi de 42,8 %, do A foi de 11,4 % e do fluido B de 10,3 %, ou seja, o fluido PH apresentou um remanescente em volume maior que o dobro dos fluidos A e B (Figura 8).

As alterações de estabilidade se relacionam com as alterações de propriedades dos fluidos quando estressado ou em uso, condição que expandida para o ambiente industrial pode ser interpretada como a probabilidade do fluido PH apresentar menor taxa de reposição de fluido no sistema.

Os fluidos A e B apresentam maior fração total de resíduos pesados (não vaporizados), que influenciarão no aumento da viscosidade e na produção de resíduos de carbono que conseqüentemente irão promover a redução da taxa de transferência de calor no sistema térmico, entupimento dos tubos, especialmente os de

pequeno diâmetro, além de ocasionar danos em selos de bomba. Esses fatores podem levar à perda de produção, diminuição da vida útil do equipamento, além do aumento da necessidade de reposição de FTO e de limpezas frequentes no sistema. Somando-se a todos esses inconvenientes, a deposição de lama de carbono na tubulação pode provocar superaquecimento em locais pontuais, que dependendo da temperatura localizada pode levar a rompimento dos tubos e, conseqüentemente, a possibilidade de incêndios.

O fluido PH apresenta melhor resistência a alterações permanentes causadas pelo calor, tornando-o mais eficiente (menor tendência de criar depósitos sobre superfícies de área de troca de calor) e com menor taxa de falhas (como obstrução de tubos, danos à vedação de bombas entre outras).

Após as análises dos três fluidos minerais, (A e B - parafínicos e PH - parafínico hidrogenado), obteve-se como melhor possibilidade de escolha o fluido PH, em função de: maior estabilidade térmica, menor taxa de reposição no sistema, maior segurança operacional da unidade industrial quanto às conseqüências de sua degradação e potenciais riscos de incêndio e explosão, menor probabilidade de falha ou perdas junto à produção, e maior retorno sobre a estrutura de investimento (custo total do fluido x expectativa de vida útil).

4. CONCLUSÕES

Com relação à primeira etapa da pesquisa sobre o mercado de fluido térmico no Brasil, pode-se concluir que há um número de aproximadamente 3.370 empresas que utilizam o FTO como meio de transferência de calor indireto, e mais de 90 % das empresas que utilizam sistemas térmicos com fluido orgânico estão relacionados com indústria química, de asfalto, de alimentos, têxtil, de embalagem e automobilística. O FTO mais utilizado é o de base mineral parafínica e parafínica hidrogenada, com temperatura na faixa de 180 °C a 300 °C.

Com relação à segunda etapa da pesquisa, os resultados das análises dos três fluidos térmicos novos mostraram que algumas propriedades indicam a diminuição de incidência de riscos de incêndios (segurança), de continuidade operacional através de ensaios de degradação térmica e de espectroscopia na região do infravermelho.

Os ensaios de densidade e viscosidade em ampla faixa de temperatura indicam qual exigirá maior ou menor potência da bomba. Esses ensaios deveriam ser prática rotineira quando da escolha de um fluido térmico, possibilitando uma escolha mais segura, por parte do grupo envolvido no projeto de engenharia do sistema térmico.

A partir das análises, o fluido PH (parafínico hidrogenado) de forma geral apresentou-se como melhor escolha atendendo de forma satisfatória aos requisitos elencados em relação aos fluidos A e B (parafínicos), que resumem em maior estabilidade térmica, menor taxa de reposição na planta, segurança operacional da unidade industrial quanto a conseqüências de sua degradação e potenciais de vazamentos, incêndios, e explosões, aspectos de segurança e saúde quanto a contato incidental e disposição final do resíduo e maior retorno sobre a estrutura de investimento (custo total do fluido x expectativa de vida útil). Mantendo-se em similaridade com os demais fluidos nos fatores de aspecto de segurança em sua condição original quanto a risco de incêndio e explosão, taxa de transferência de calor, capacidade de bombeamento, condição de reprocessamento por ser de base mineral. Portanto, os FTOs apresentam uma compatibilidade de características onde por sua própria definição está vinculada ao fator tempo e que quando em uso nas plantas térmicas as diferenças observadas são alteradas e acentuadas, visto serem expostos a uma série de variáveis de influências adicionais, como materiais das plantas industriais, as impurezas, o acúmulo de calor durante as condições de transferência de calor entre outros fatores. Outro fato inevitável é que para os três fluidos trabalhados há similaridade de utilização para os sistemas térmicos onde são propostos, conduzindo aos mesmos cuidados quanto às características de eficiência, bombeamento e segurança no uso e continuidade operacional.

REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D92: Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. 2017.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D893: Standard Test Method for Insolubles in Used Lubricating Oils. 2018
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D93: Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. 2016.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D95: Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation. 2013.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D189-06: Standard Test Method for Conradson Carbon Residue of Petroleum Products. Reapproved 2014.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D445-15a: Standard Method of Test for Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (kinematic and dynamic viscosities). 1966.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D664: Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. 2017.
- [8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D893: Standard Test Method for Insolubles in Used Lubricating Oils. 2014.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D1500: Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products. 2017.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2717.95 Standard Test Method for Thermal Conductivity of Liquids. Reapproved 2009.
- [11] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM-D2766: Standard Test Method for Specific Heat of Liquids and Solids. Reapproved 2009.
- [12] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D2887.16a: Standard Test Method for Boiling Range Distribution of Petroleum Fractions by Gas Chromatography, designation: 406. 2016.
- [13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D3828: Standard Test Methods for Flash Point by Small Scale Closed Cup Tester. 2016.
- [14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-4052-16: Standard Test Method for Density, Relative Density and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter. 2016.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D4055: Standard Test Method for Pentane Insolubles by Membrane Filtration. 2013.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D5185.13: Standard Test Method for Multielement Determination of Used and Unused Lubricating Oils and Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). 2013.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D6595: Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry. 2017.
- [18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-D6743.11: Standard Test Method for Thermal Stability of Organic Heat Transfer Fluids. Reapproved 2015.
- [19] COSTA, M.G. Fluido Térmico Orgânico: Compatibilidade de Características e Similaridade de Utilização – Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Processos Industriais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2018, 123 p.
- [20] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 51820: Testing of lubricants - Analysis of greases by infrared spectrometer - Recording and interpretation of an infrared spectrum. 2013.
- [21] DUNCKE A.C.P. Morfologia de parafinas em petróleo, sistemas modelo e emulsões água/óleo por meio de microscopia óptica. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015, 174 p.
- [22] EXXON MOBIL CORPORATION, disponível em: [synthetic_lubricant_base_stocks_formulations_guide_en_2019%20.pdf](https://www.exxonmobil.com/technicalpublications/synthetic_lubricant_base_stocks_formulations_guide_en_2019%20.pdf), 2019, acesso em 22/05/2020.
- [23] KIRK-OTHMER: Encyclopedia of Chemical Technology. Heat transfer media other than water. M. Howe-Grant, 4. ed., vol. 4, New York, John Wiley and Sons, 1992.

- [24] KLETZ T.A. HAZOP AND HAZAN: Identifying and assessing process industry hazards. 4. ed., New York: Taylor & Francis, 1999.
- [25] KLETZ T.A., AMYOTTE, P. Process Plants: A Handbook for Inherently Safer Design. 2. ed., Boca Raton, CRC Press, 2010.
- [26] OYEKUNLE L. O., SUSU A. A. High Temperature Thermal Stability Investigation of Paraffinic Oil. *Petroleum Science and Technology*, 23, 2, 2005, p.199-207.
- [27] SANCHES N. B., CASSU S. N., DUTRA R.C.L. TG/FT-IR Characterization of Additives Typically Employed in EPDM Formulations. *Polímeros*, 25, 3, 2015, p. 247-255.
- [28] TORRES A.A.U, D'ALMEIDA J.R.M., HABAS J.P. Avaliação do efeito de um óleo parafínico sobre o comportamento físico-químico de tubulação de polietileno de alta densidade. *Polímeros*, 20, 2010, p. 331-338.
- [29] VIGNAROUBAN K., XU X., ARVAY A., HSU K., KANNAN A.M. Heat transfer fluids for concentrating solar power systems - A review. *Applied Energy*, 146, 2015, p. 383–396.
- [30] WAGNER, W. Heat transfer technique with organic media. 2.ed., Gräfelfing : Resch, 1997.
- [31] WANG H., CAO Y., LI D., MUHAMMAD U., LI C., LI Z., ZHANG S. Catalytic hydrorefining of tar to liquid fuel over multi-metals (W-Mo-Ni) catalysts. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5, 2013, p. 053114-1-12.
- [32] WRIGHT C.I. Thermal heat transfer fluid problems following a system flush with caustic and water. *Case Studies in Thermal Engineering*, v.2, 2014, p.91-94.
- [33] WRIGHT C. I., BEMBRIDGE T., PICOT E., PREMEL J. Food processing: the use of non-fouling food grade heat transfer fluids. *Applied Thermal Engineering*, 84, 2015, p. 94-103.
- [34] WRIGHT C. I., PICOT E., BEMBRIDGE, T. The relationship between the condition of a mineral-based heat transfer fluid and frequency that it is sampled and chemically analyzed. *Applied Thermal Engineering*, vol. 75, 2015, p. 918-922.

Capítulo 13

Análise da influência do combustível na obtenção de HAp via reação de combustão

Thaíla Gomes Moreira

Thalita Lorene dos Santos

Amanda Melissa Damiano Leite

Kaline Melo de Souto Viana

Resumo: A busca por novos materiais de aplicações biomédicas conduziu à investigação das biocerâmicas de fosfato de cálcio, em especial a hidroxiapatita (HAp), que por ser um material semelhante ao tecido ósseo, de excelente biocompatibilidade e alta osteocondução possibilitando a regeneração óssea o que permite a utilização em implantes e próteses. A síntese da HAp via reação de combustão possibilita a obtenção de HAp nanométrica com uma estrutura mais similar possível à apatita biológica. Este trabalho tem como objetivo sintetizar HAp por reação de combustão utilizando duas rotas de síntese diferentes; a primeira, utilizando a uréia como combustível e a segunda utilizando a glicina; após isso, avaliar qual a influência dos combustíveis utilizados na microestrutura da hidroxiapatita obtida. A HAp obtida foi caracterizada por: DRX, FTIR e MEV. Por meio da análise dos resultados obtidos, verifica-se nas condições de síntese utilizadas a glicina apresentou-se mais favorável à obtenção de HAp.

Palavras-chave: hidroxiapatita, reação de combustão, glicina, uréia.

1. INTRODUÇÃO

Materiais obtidos em escala nanométrica geram um grande interesse e têm apresentado um grau de importância para as futuras aplicações tecnológicas em virtude de suas propriedades químicas e físicas apresentarem-se diferentes em relação aos demais materiais. Dentre os biomateriais, as biocerâmicas têm sido utilizadas com sucesso no corpo humano. Essas são frequentemente usadas em cirurgias ortopédicas e odontológicas, além de apresentarem um elevado potencial para importantes aplicações dentro da indústria de dispositivos médicos.

Tratando-se de biocerâmicas, os fosfatos de cálcio despertam grande interesse biológico e médico devido a sua ocorrência em diferentes espécies animais e no homem. Exemplo é o osso humano que é formado por 20% de componentes orgânicos, 69% de fosfatos de cálcio e 9% de água. Dos componentes orgânicos, pode-se citar o colágeno, a matriz extracelular e os componentes celulares que atuam nos processos de dissolução e formação óssea. A parte inorgânica consiste de uma fase amorfa e uma fase cristalina, formada pela hidroxiapatita (HAp), com fórmula química dada por $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, sem dúvida a mais estudada e a mais utilizada para finalidades clínicas, principalmente por se tratar do componente majoritário da fase mineral dos ossos e dentes ⁽¹⁾.

Além da sua ocorrência biológica, a hidroxiapatita pode ser sintetizada em laboratório por reações de estado sólido e por métodos úmidos. Em virtude da sua crescente aplicação, diversas técnicas têm sido mencionadas na literatura para a sua produção. Dentre estes métodos de síntese pode-se citar: emulsão, hidrotermal, sol-gel, mecanoquímico, microondas, gravitacional e reação de combustão ⁽²⁾.

A tendência atual é o desenvolvimento de técnicas alternativas para a produção da HAp, principalmente aquelas que apresentam um baixo custo, elevado rendimento e produtos finais puros que é o caso do método via reação de combustão. As principais características deste método são a sua capacidade de produzir rapidamente as fases desejadas com elevado grau de pureza, uma melhor homogeneidade e pós ultra finos num único passo. Assim, a viabilidade da produção da HAp através desta técnica foi alvo de estudo deste trabalho, visto que o método apresenta um enorme potencial, tanto economicamente quanto tecnologicamente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

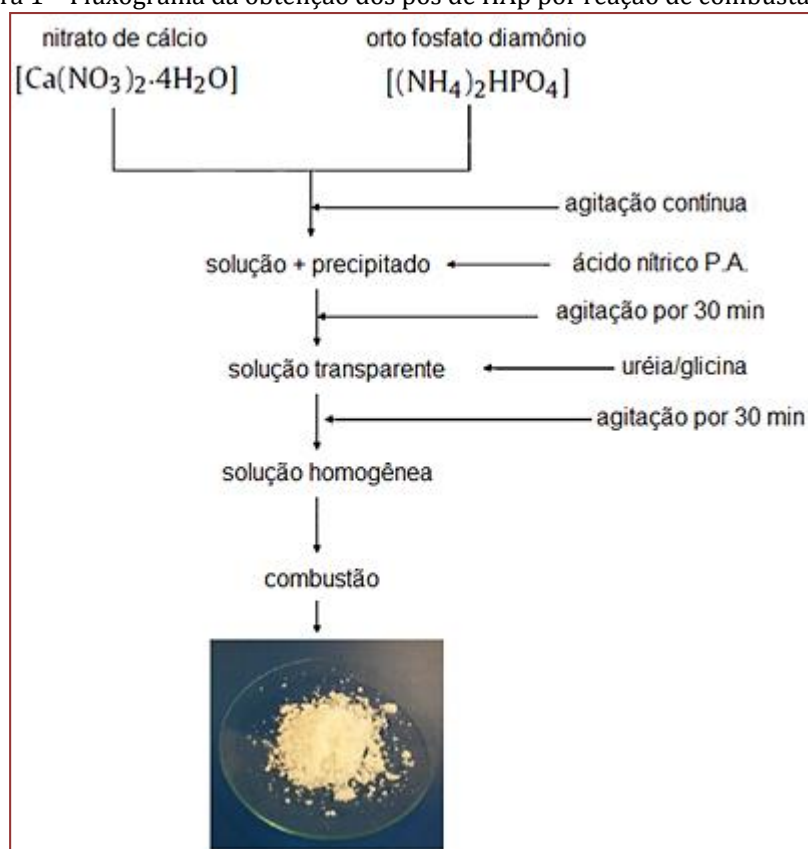
2.1. MATERIAIS

Para a síntese da HAp os reagentes utilizados foram: Nitrato de cálcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], ortofosfato de diamônio ($\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), Uréia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], Glicina ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}_2$) e Ácido Nítrico [HNO_3].

2.2. MÉTODOS

A obtenção da hidroxiapatita via reação de combustão utilizou dois combustíveis diferentes, a glicina e a uréia. A proporção de cada reagente na mistura seguiu a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 1, proposta por Ghosh *et al.*, 2011⁽²⁾.

Figura 1 – Fluxograma da obtenção dos pós de HAp por reação de combustão (2).



A Figura 2 ilustra as etapas da obtenção dos pós de HAp por reação de combustão no momento do aquecimento.

Figura 2 – Etapas da obtenção da HAp por reação de combustão. (a) Aquecimento da mistura dos reagentes na resistência, (b) liberação dos gases provenientes da combustão e (c) pós da HAp obtido após a combustão completa.



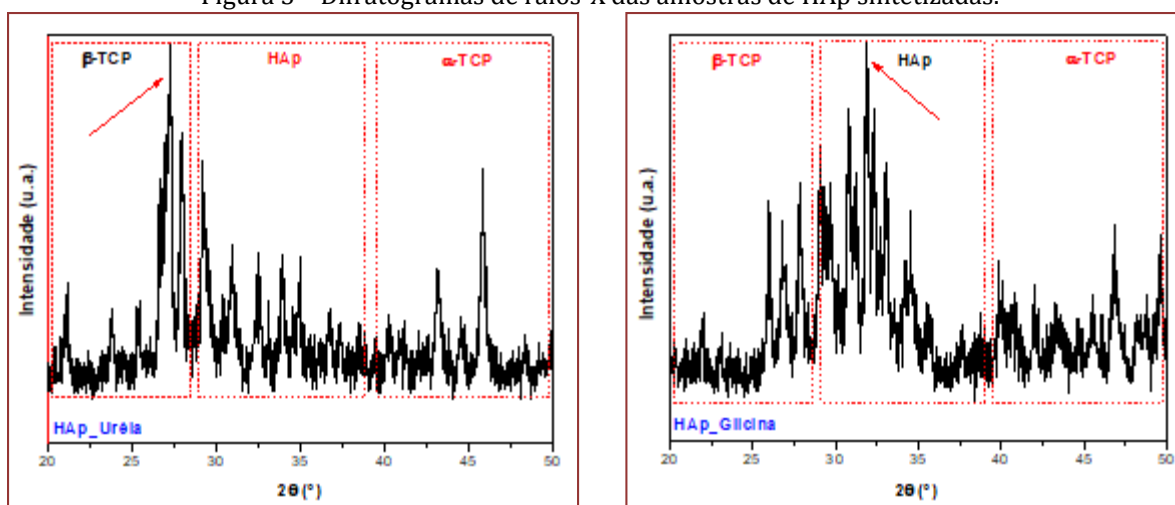
A caracterização das amostras obtidas foi feita por Difração de raios-X (DRX), Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X(DRX)

A Figura 3 ilustra os resultados da caracterização por Difração de Raios-X realizada para as amostras de HAp obtidas por reação de combustão utilizado a uréia e a glicina como combustíveis.

Figura 3 – Difratoogramas de raios-X das amostras de HAp sintetizadas.



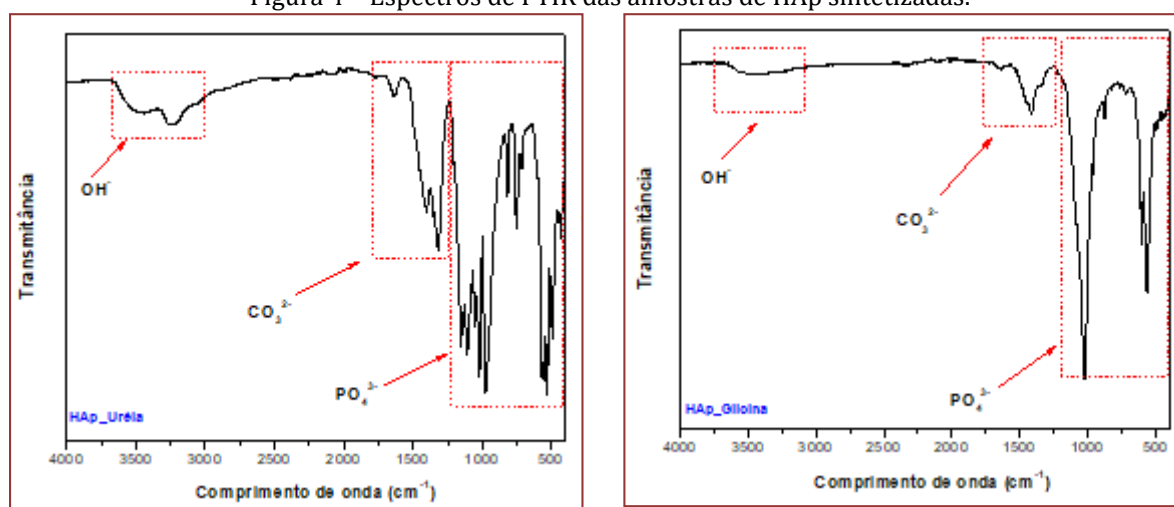
Por meio da observação dos resultados de DRX das duas amostras de HAp sintetizadas com os combustíveis uréia e glicina, foram visualizadas para ambas as amostras, picos cristalográficos correspondentes das fases b-fosfato tricálcio (b-TCP) que ocorre entre 20-30°⁽³⁾, hidroxiapatita (HAp) que ocorre entre 30-40°⁽⁴⁾ e a-fosfato tricálcio (a-TCP) que ocorre entre 40-50°⁽⁵⁾. No entanto, observa-se que para a amostra sintetizada com o combustível uréia a fase marjotária foi a b-TCP evidenciada pela presença do pico mais intenso em 27°, enquanto que na amostra sintetizada com o combustível glicina a fase marjotária foi a HAp evidenciada pela presença do pico mais intenso em 32°.

Assim, pela análise dos difratogramas verifica-se que o material obtido na síntese por reação de combustão foi na verdade uma mistura de três fases de fosfatos de cálcio e não a fase hidroxiapatita pura como era desejada.

3.2. INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURRIER (FTIR)

A Figura 4 ilustra os resultados da caracterização por Infravermelho com Transformada de Fourier realizada para as amostras de HAp obtidas por reação de combustão utilizado a uréia e a glicina como combustíveis.

Figura 4 – Espectros de FTIR das amostras de HAp sintetizadas.



Analisando os espectros de FTIR das duas amostras de HAp sintetizadas com os combustíveis uréia e glicina, visualizam-se as mesmas bandas de absorção para as duas amostras, a saber: nas regiões entre

3656 e 3011 cm^{-1} correspondente à ligação O-H da hidroxila; entre 1790 cm^{-1} e 1252 cm^{-1} bandas correspondente ao grupo CO_3^{2-} ; entre 1161 cm^{-1} e 425 cm^{-1} bandas correspondente ao grupo PO_4^{3-} .

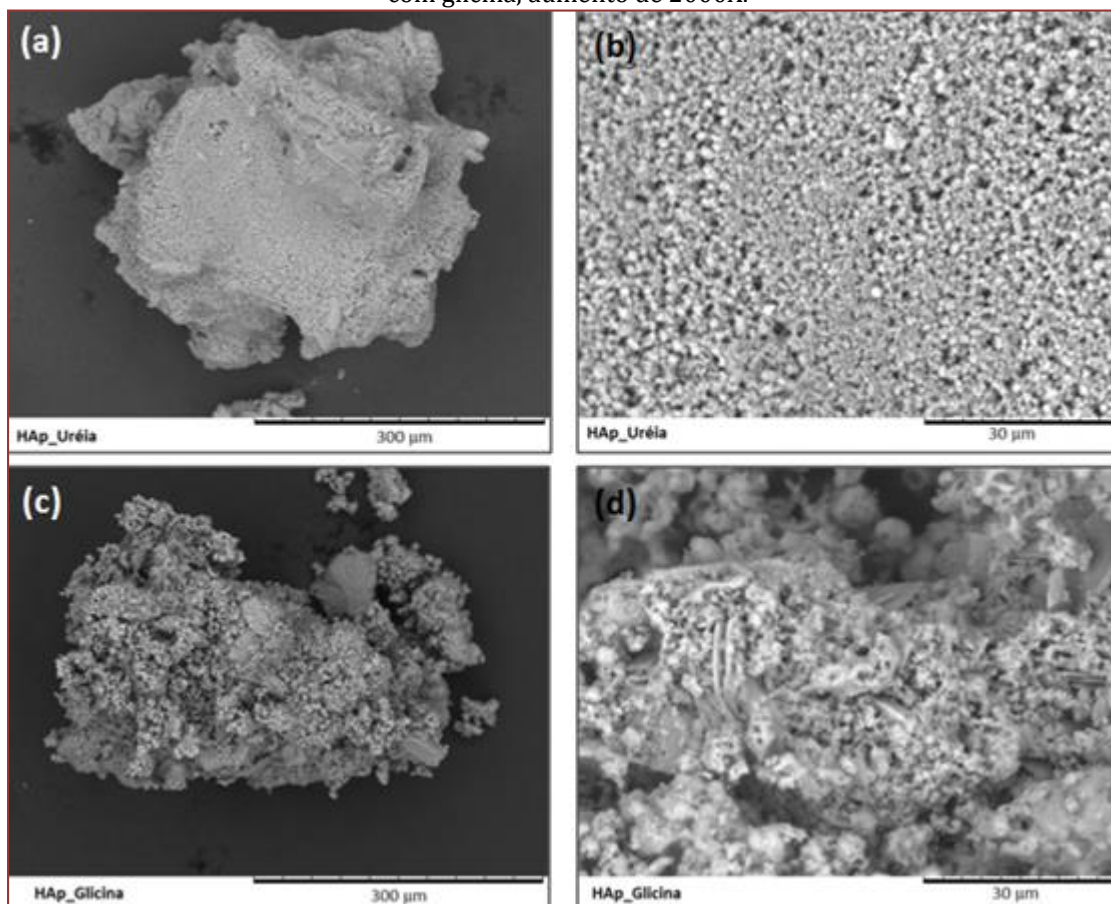
Ressalta-se que todas as bandas de absorção visualizadas para as amostras de HAp também foram observadas por Ghosh *et al.* (2) quando estudaram a síntese de nanopartículas de hidroxiapatita pelo método da combustão utilizando os combustíveis uréia e glicina, bem como por Pon-On *et al.* (6) que extraiu hidroxiapatita de escama de peixe para uso potencial como *scaffolds* para regeneração óssea.

Os resultados do FTIR corroboram com os resultados do DRX, uma vez que para a amostra de HAp sintetizada com uréia foi obtida uma mistura entre as fases HAp/ b-TCP/ a-TCP com predominância da fase do b-fosfato tricálcio o que pode ser confirmado pela presença de um número maior de bandas de absorção referentes aos grupos CO_3^{2-} e PO_4^{3-} . Já na mostra de HAp sintetizada com glicina também foi obtida uma mistura entre as fases HAp/ b-TCP/ a-TCP porém com predominância da fase hidroxiapatita.

3.3. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A Figura 5 ilustra os resultados da caracterização por Microscopia Eletrônica de Varredura realizada para as amostras de HAp obtidas por reação de combustão utilizado a uréia e a glicina como combustíveis.

Figura 5 – Micrografias das amostras de HAp sintetizadas. (a) HAp obtida com uréia, aumento de 300X, (b) HAp obtida com uréia, aumento de 2000X, (c) HAp obtida com glicina, aumento de 300X, (d) HAp obtida com glicina, aumento de 2000X.



Analisando os resultados de microscopia eletrônica de varredura para as duas amostras de HAp sintetizadas, observa-se que a utilização dos combustíveis uréia e glicina proporcionaram a obtenção de sólidos na forma de aglomerados porosos.

Na Figura 5a observa-se que a HAp sintetizada com uréia é constituída por aglomerados de tamanho de aproximadamente 300 μm . Já na Figura 5b observa-se que esses aglomerados possuem uma distribuição de tamanho estreita e de formato regular aproximadamente esférico com tamanhos em torno de 2,5 μm .

Na Figura 5c observa-se que a HAp sintetizada com glicina também é constituída por aglomerados de tamanho de aproximadamente 300µm. Na Figura 5d observa-se que esses aglomerados possuem uma larga distribuição de tamanhos, de formato irregular com tamanhos que variam de 2,4 a 4,2 mm.

Morfologia semelhante à observada neste trabalho, hidroxiapatita em forma de aglomerados porosos, também foi observada por Pon-On *et al.* ⁽⁶⁾.

4. CONCLUSÕES

As amostras sintetizadas neste trabalho foram uma mistura de três fases de fosfatos de cálcio (HAp + b-TCP + a-TCP) e não a hidroxiapatita (HAp) pura como era de interesse inicial. Os pós das amostras obtidas foram morfológicamente classificados como aglomerados porosos com tamanhos em torno de 2,5 mm para os pós obtidos com a uréia e entre 2,4 a 4,2 mm para os pós obtidos com a glicina. Por meio dos resultados das caracterizações obtidas conclui-se que nas condições de síntese que tratam este trabalho a glicina foi o combustível mais propício para a síntese da hidroxiapatita uma vez que foi com este combustível que se obteve a maior quantidade da fase HAp desejada.

REFERÊNCIAS

- [1] TORKITTIKUL, P.; CHAIPANICH, A. *Materials Science & Engineering C*, 32 (2), p. 282-289, 2012.
- [2] GHOSH, S. K.; ROY, S. K.; KUNDU, B.; DATTA, S.; BASU, D. *Materials Science and Engineering B*, 176, p. 14–21, 2011.
- [3] GHOSH, R.; SARKAR, R. *Materials Science and Engineering C*, 67, p. 345–352, 2016.
- [4] MÜLLER, W. E.G.; TOLBA, E.; SCHRÖDER, H. C.; MUÑOZ-ESPÍ, R.; DIEHL-SEIFERT, B.; WANG, X. *Acta Biomaterialia*, 31, p. 358–367, 2016.
- [5] CARRODEGUAS, R. G.; AZA, S. D. *Acta Biomaterialia*, 7, p. 3536–3546, 2011.
- [6] PON-ON, W.; SUNTORNSARATOON, P.; CHAROENPHANDHU, N.; THONGBUNCHOO, J.; KRISHNAMRA, N.; TANG, I. M. *Materials Science and Engineering C*, 62, p. 183–189, 2016.

Capítulo 14

*Influência do líquido de castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.) no fenômeno da precipitação de parafina em petróleo pesado*

Carlos Wagner Lobo Siqueira

Denes Carlos Santos da Graça

Rosiane dos Santos

Tarcisio Soares Siqueira Dantas

Gisélia Cardoso

Resumo: Este trabalho avaliou, em bancada de laboratório, a influência do líquido advindo de indústria de beneficiamento da castanha de caju (LCC), como aditivo inibidor da precipitação de parafina em petróleo pesado, por meio de medida reológica da tensão de cisalhamento e da viscosidade em função da taxa de cisalhamento, da temperatura inicial de aparecimento de cristal de parafina (TIAC), da energia de ativação de fluxo viscoso e da configuração e morfologia de precipitado parafínico por difração de raios-X (DRX) e microscopia ótica de luz polarizada (MOLP), respectivamente. Os resultados mostraram que a presença do LCC não alterou a TIAC, mas diminuiu a energia de ativação de fluxo do óleo pesado aditivado com 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm de LCC e sua viscosidade com 250 ppm e 750 ppm de LCC, quando comparado com o óleo puro, na temperatura ambiente (298K) e na temperatura média de poço (338K). Contudo, não alterou a estrutura cristalina da parafina.

Palavras-Chave: petróleo, parafina, aditivo, LCC.

1. INTRODUÇÃO

A produção de petróleo impõe vários desafios operacionais, dentre eles a desobstrução das tubulações de escoamento de óleo pesado e garantia do seu escoamento (Santos et al., 2014).

Grande parte das reservas de petróleo no Brasil localizam-se em bacias *offshore* com acumulações de petróleo cada vez mais em águas profundas o que favorece a precipitação e deposição das frações de componentes pesados durante a sua produção (Magalhães & Domingues, 2014; Barillas et al., 2014).

A abordagem mais racional para a garantia de escoamento do petróleo pesado é atuar no sentido de evitar a precipitação de parafina, o que implica em manter condições favoráveis de solubilidade da mesma no óleo. Para isso, é necessário manter a temperatura do óleo acima da temperatura inicial de aparecimento de cristal de parafina (TIAC), o que pode ser obtido por isolamento térmico da tubulação, aquecimento artificial da mesma ou fazer uso substâncias como aditivos que dificultem o aparecimento de cristais de parafina ou o seu crescimento, com consequente deposição.

Diante desse cenário, o presente estudo se justifica por buscar contribuir para a promoção da garantia de escoamento de óleo pesado, através de avaliação do uso de um resíduo industrial, o líquido da casca da castanha de caju (LCC), internacionalmente denominado *Cashew Nut Shell Liquid (CNSL)*, substância natural constituída de mistura de compostos fenólicos com cadeia lateral alquílica de 15 carbonos e hidroxila no anel aromático (Matos et al., 2008; França et al., 2016), que lhes conferem características surfactante, com potencial para uso como aditivo na minimização de problemas causados pelo fenômeno da parafinação no escoamento do petróleo pesado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados foram amostra de petróleo parafínico (grau API 18) da Região Nordeste do Brasil e líquido da casca da castanha de caju (LCC), advindo de indústria de beneficiamento da castanha de caju do Estado do Ceará, como aditivo, nas concentrações de 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm.

2.2. MÉTODOS

Determinação do teor de água emulsionada no óleo pelo método de titulação Karl Fischer.

Determinação das frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos, por análise SARA.

Avaliação do comportamento da tensão de cisalhamento e da viscosidade aparente do óleo pesado, sem e com aditivo, na faixa de taxa de cisalhamento de $0,465 \text{ s}^{-1}$ a $1,3485 \text{ s}^{-1}$, utilizando um viscosímetro Brookfield DV-III-Ultra, spindle SC4-21, interfaciado com uma célula térmica (Termosel), na temperatura ambiente e média de poço, respectivamente, 298,15 K e 338,15 K.

Determinação da TIAC por meio da medida da variação da viscosidade aparente (η_{ap}) na faixa de temperatura de 338,15 K a 275,15 K, a uma taxa de resfriamento de $0,5^\circ/\text{min}$, em amostras de petróleo sem e com LCC, empregando equação de Arrhenius linearizada (eq 1) e da energia de ativação de fluxo na TIAC.

$$\ln \eta = \ln \eta_0 - \frac{E_{at}}{RT} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde,

T é a temperatura absoluta (K); R, a constante universal dos gases; E_{at} , a energia de ativação de fluxo e η_0 , o fator pré-exponencial.

O grau de cristalinidade do petróleo pesado sem e com LCC foi avaliado por difratometria de raios-X utilizando equipamento da RIGAKU, modelo Miniflex II, com fonte de radiação de cobre ($\text{CuK}\alpha$) de comprimento de onda $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ e filtro de Ni, operando com tensão de 30 kV, corrente de 15mA e varredura de 2,0 graus/min, na faixa de 1,55 a 55 graus, empregando a técnica de reflexão.

A caracterização morfológica foi realizada em microscópio ótico de luz polarizada (MOLP) da marca *Leica*, modelo DMLM, com ampliação de 10x.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de água emulsionada na amostra, medida por titulação Karl Fisher foi de $3,52 \pm 0,41\%$ que confere elevada quantidade de água emulsionada, de difícil separação.

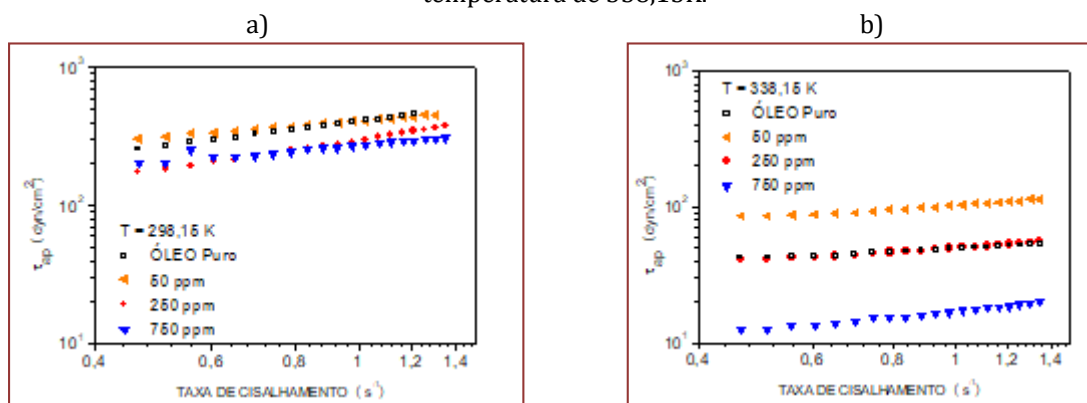
O resultado da análise SARA é mostrado na Tabela 1. Observa-se que o petróleo em estudo apresenta frações bastante elevadas de aromáticos e resinas, além de um percentual considerável de asfaltenos, que conjuntamente com o quantitativo de água presente na amostra lhes conferem características reológicas de dificuldade de escoamento (Santos et al., 2014).

As Figuras 1(a, b) mostram o comportamento da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC na temperatura ambiente e média de poço, respectivamente, 298,15 K e 338,15 K. Observa-se que o petróleo sem e com LCC apresenta comportamento de fluido não-Newtoniano e que o aumento da concentração do LCC diminui a tensão de cisalhamento e aumenta a sua susceptibilidade térmica, o que pode ser atribuído à maior solvatação das frações de saturados, aromáticos, resinas e asfaltenos em decorrência da presença de seus grupos aromáticos, que podem estar agindo como agente nucleante e diminuindo o tamanho do cristal e/ou esferas rígidas reduzindo a resistência ao cisalhamento das frações pesadas presentes no petróleo. Porém, na concentração de 50 ppm de LCC, na temperatura ambiente (298,15K) não alterou o comportamento da tensão de cisalhamento aparente com relação ao puro, e na temperatura média de poço (338,15 K) esta é aumentada, a baixa concentração de LCC, comportamento que pode ser atribuído ao favorecimento à nucleação e ao crescimento dos cristais de parafina produzindo um efeito contrário ao quando se encontra em maior concentração, contudo seus valores são inferiores aos medidos na temperatura ambiente, em todas as amostras.

Tabela 1. Análise SARA do petróleo pesado em estudo.

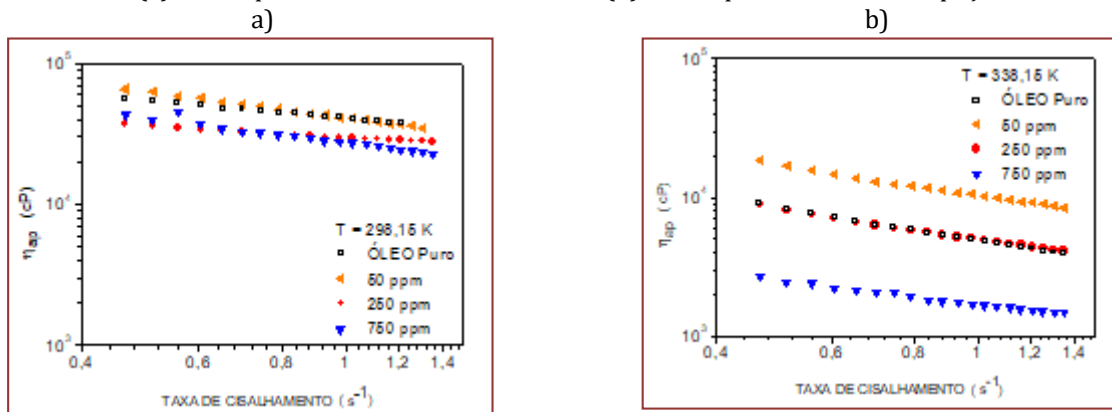
| Frações do petróleo em estudo | % em massa |
|-------------------------------|------------|
| Saturados | 47,3 |
| Aromáticos | 23,9 |
| Resinas | 24,6 |
| Asfaltenos | 4,2 |

Figura 1. Comportamento da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC nas concentrações de 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm: (a) na temperatura de 298,15K e (b) na temperatura de 338,15K.



As Figuras 2(a, b) mostram o comportamento da viscosidade aparente (η_{ap}) com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC, nas temperaturas ambiente (298,15K) e média de poço (338,15K). Observa-se que as amostras apresentam comportamento de fluido não-Newtoniano do tipo pseudoplástico, em toda taxa de cisalhamento analisada, e a viscosidade diminui com o aumento da temperatura para todas as amostras. Contudo, comparativamente, na temperatura de 338,15K, na concentração de 50 ppm, a viscosidade aumenta o que corrobora com a justificativa já apresentada.

Figura 2. Comportamento da viscosidade aparente (η_{app}) com a taxa de cisalhamento do petróleo sem e com LCC: (a) na temperatura ambiente, 298,15 K e (b) na temperatura média de poço, 338,15 K.



Os valores da TIAC, Tabela 2, mostram que não houve variação nas concentrações de 50 ppm e 250 ppm de LCC quando comparados ao petróleo puro, 316,15 K, contudo, na concentração de 750 ppm de LCC este aumentou, 322,15K. Analisando os valores da energia de ativação de fluxo na TIAC e na temperatura ambiente 298,15K, observa-se que esta diminui, para todas as amostras aditivadas, o que facilita o escoamento do óleo pesado.

Tabela 2. Valor da TIAC e da energia de ativação de fluxo na temperatura da TIAC do petróleo sem e com adição de LCC.

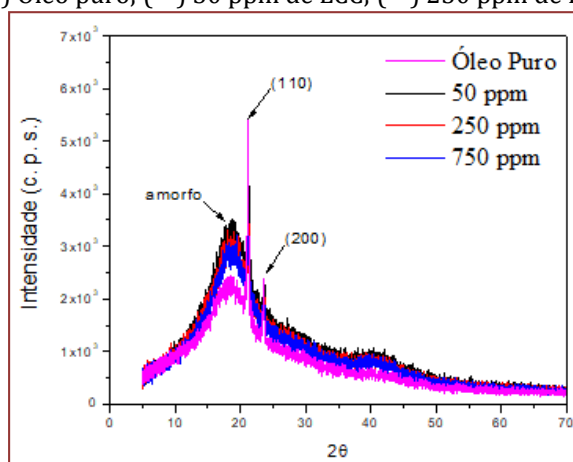
| Amostra | LCC (ppm) | TIAC (K) | Ea (J.mol ⁻¹)* | Ea (J.mol ⁻¹)** |
|---------|-----------|----------|----------------------------|-----------------------------|
| Óleo | - | 316,15 | 5424 | 7207 |
| | 50 | 316,15 | 4620 | 6379 |
| | 250 | 316,15 | 4351 | 6087 |
| | 750 | 322,15 | 4464 | 6914 |

*Na temperatura da TIAC

**Na temperatura ambiente

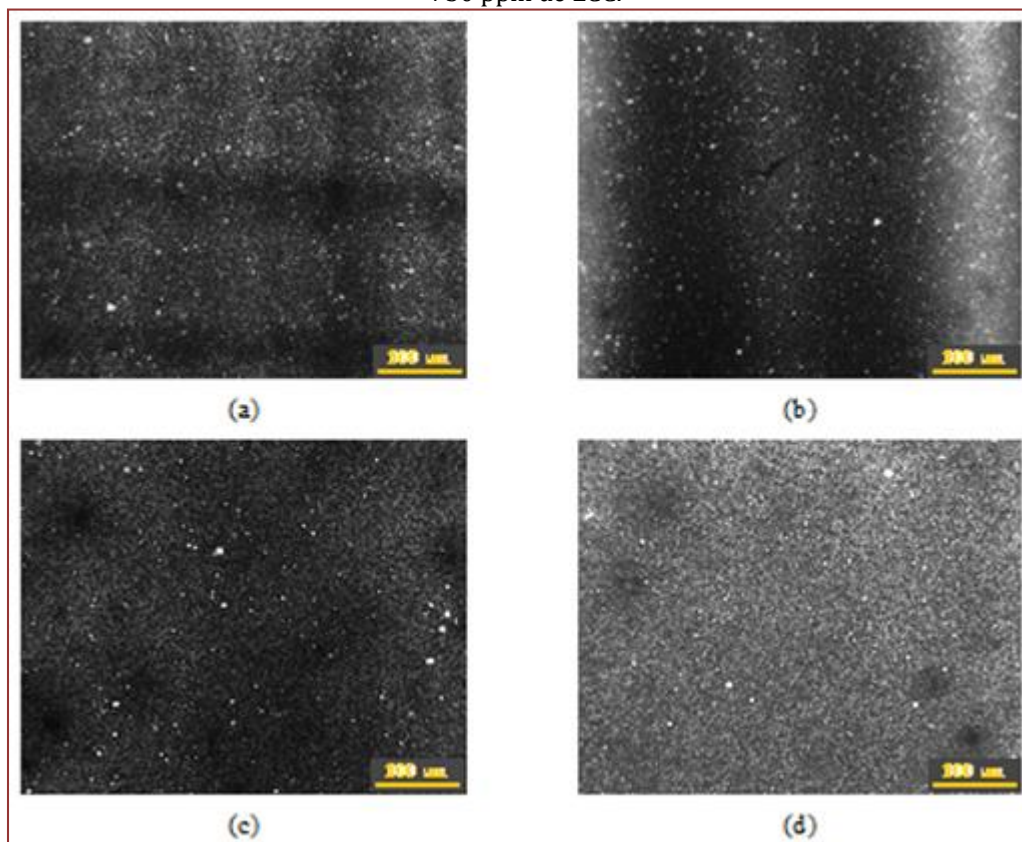
A Figura 3 mostra os difratogramas de raios-X obtidos para amostras de petróleo sem e com LCC, nas concentrações estudadas. Observam-se em todas as amostras dois picos intensos a 21° e a 24° relativos aos planos (110) e (200), respectivamente, e um halo amorfo com um máximo de intensidade em torno de 19°, característicos de cristais de parafina (Becker, 1997), sinalizando que a presença do LCC não alterou a estrutura cristalina na parafina.

Figura 3. Difratogramas (—) Óleo puro; (—) 50 ppm de LCC; (—) 250 ppm de LCC; (—) 750 ppm de LCC.



As micrografias obtidas por MOLP, Figura 4(a, b, c, d), mostram que a morfologia da amostra de petróleo com a adição de 750ppm de LCC é mais fina e uniforme, quando comparada com as demais, o que concorda com as justificativas anteriores. Os pontos brancos, presentes nas micrografias refletem a presença de água na amostra.

Figura 4. Micrografias obtidas por MOLP do (a) óleo puro, (b) 50 ppm de LCC, (c) 250 ppm de LCC e (d) 750 ppm de LCC.



5. CONCLUSÕES

A adição de LCC nas concentrações de 50 ppm, 250 ppm e 750 ppm apresenta potencial tecnológico para uso na garantia de escoamento de petróleo pesado, por reduzir a viscosidade e diminuir a energia de ativação de fluxo do óleo pesado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado, ao PEQ/UFS pela oportunidade de realizar a pesquisa, a Petrobras/UO-SEAL e o DET/UFC, respectivamente, pela amostra de petróleo e de LCC.

REFERÊNCIAS

- [1] Becker, J. R. Crude Oil – Waxes, Emulsions and Asphaltenes, PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1997, 276p.
- [2] França, F. C. F.; Coelho, E. L.; Uchôa, A. F. J.; Rodrigues, F. H. A.; Ribeiro, M. E. N. P.; Soares, S. A.; Ricardo, N. M. P. S. Síntese e caracterização de surfactantes alquilfenil poliglicosídicos a partir da amilose e alquil fenóis extraídos do LCC natural. Química Nova, v.39, n.7, p.771-781, 2016.

- [3] Magalhães, Aline Souza; Domingues, E. P. Blessing or curse: Impacts of the Brazilian Pre-Salt oil exploration. *Economia* v. 15, p. 343-362, 2014.
- [4] Matos, J. E. X.; Silva, F. J. A.; Vieira, P. B. Solventes para extração do líquido da castanha de caju (LCC) e compatibilidade ambiental. *Revista. Tecnologia*, v.29, n.1, p.101-109, 2008.
- [5] Santos, R. G.; Loh, W.; Bannwart, A. C.; Trevisan, O. V. An overview of heavy oil properties and its recovery and transportation methods. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 31, No. 03, p. 571-590, 2014.
- [6] Barillas, J. L. M.; Dutra Jr, T. V.; Mata, W. Improved oil recovery process for heavy oil: a review. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*. v. 2, n. 1, p. 45-54, 2008.

Capítulo 15

Índice de PMV e PPD para análise de conforto térmico de residência no Semiárido Paraibano

Paula Isabella de Oliveira Rocha

Vicente de Paula Teixeira Rocha

Vera Solange de Oliveira Farias

Emmanuel Eduardo Vitorino de Farias

Resumo: Este trabalho teve como objetivo principal caracterizar os ambientes de uma Eco residência rural projetada por pesquisadores da UFCG, observando as necessidades climáticas do Semiárido nordestino e dentro do conceito de sustentabilidade. A habitação foi construída no Distrito da Ribeira, pertencente ao município de Cabaceiras, localizada no semiárido paraibano. Para obtenção e armazenamento das variáveis climáticas foram construídas estações meteorológicas a partir de uma placa prototipagem, o arduino, ligado a sensores de obtenção de variáveis climáticas. Os ambientes foram caracterizados a partir dos cálculos efetuados para índices que usam variáveis climáticas associadas a parâmetros individuais, a exemplo do Voto Médio Estimado e Percentual de Pessoas Insatisfeitas. Tendo em vista que os ambientes analisados encontravam-se desocupados, foi feita uma simulação sobre como seria o comportamento e as vestimentas dos habitantes em diversos horários. O estudo aponta para o fato que os ambientes foram classificados como “ligeiramente frio” antes das 8 horas e “ligeiramente quente” no turno vespertino. O conforto ótimo dos ambientes foi alcançado em torno das 9 horas.

Palavras-Chave: Índices subjetivos; conforto térmico; parâmetros individuais.

1. INTRODUÇÃO

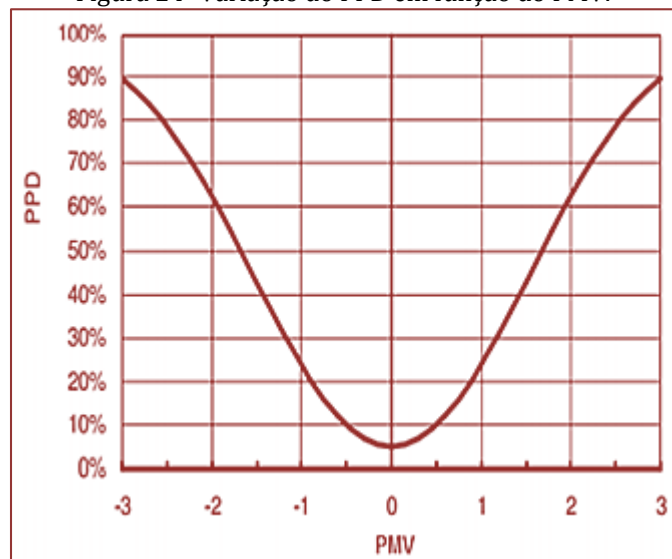
O índice Voto Médio Estimado (PMV) é muito utilizado com o propósito de caracterizar o ambiente adotando como referencial técnico o voto de sensação térmica do usuário. Este índice deve ser complementado pelos dados fornecidos por outro índice, o PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas). Segundo Lamberts et al. (2014), o Voto Médio Estimado (PMV) é um índice que prevê um valor médio de sensação térmica de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de 7 pontos, estratificando por aqueles que sentem desconforto por temperatura elevada ou baixa. O PPD é um índice fortemente relacionado com o PMV e institui uma previsão quantitativa da porcentagem de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente, que o entendem “muito frio” ou “muito quente”.

Devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes de um ambiente se sintam termicamente confortáveis ao mesmo tempo. O PPD (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas) estabelece a quantidade estimada de pessoas insatisfeitas dentro de um ambiente (Lamberts et al., 2014).

Como aponta Vieira (2008), quando o PMV é igual a zero significa que a combinação entre atividade, vestimenta e parâmetros ambientais promove, na média, uma sensação térmica neutra. Para $0 < \text{PMV} < 1$ ou $-1 < \text{PMV} < 0$, os usuários sentem o recinto como ligeiramente quente ou ligeiramente frio, respectivamente. No caso de PMV na faixa de 1 a 2, os ocupantes do ambiente sentem desconforto classificando o ambiente na categoria quente. Para o PMV que varia de -2 a -1, os ocupantes do espaço sentem desconforto por frio. A escala de sensação térmica que apresenta uma linha graduada variando de -3 até -2 e de 2 até +3 permite uma avaliação termo-ambiental classificado como muito frio ou muito quente, respectivamente.

Pinto (2014) afirma que, para o melhor valor de PMV (zero), tem-se um mínimo de 5% de pessoas insatisfeitas pelo PPD - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas com a sensação térmica. O aumento do PPD varia de acordo com uma curva representativa para cada valor correspondente de PMV, conforme o gráfico apresentado na Figura 1.

Figura 24- Variação do PPD em função do PMV.



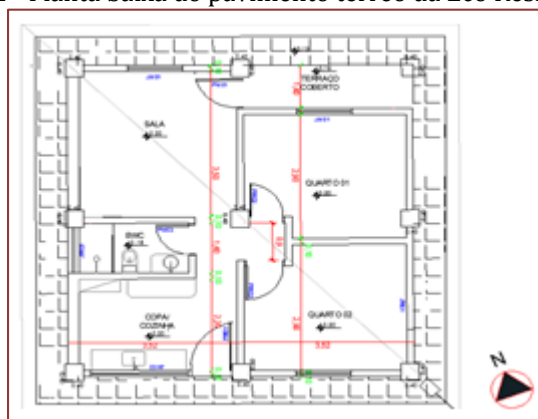
Fonte: Pinto (2014)

Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho consiste em caracterizar dois ambientes (sala e quarto) de uma Eco residência rural, de acordo com os índices PMV e PPD para três rotinas de manipulação das aberturas de ventilação no período do verão brasileiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A casa em estudo possui uma arquitetura bem atípica, com um pé direito variável, sendo no mínimo de 2,70 m. Apresenta janelas maiores que aquelas costumeiras construídas na região, o que consiste em fatores proporcionadores de maior conforto ambiental sendo, portanto, observado melhor comportamento termo-acústico-lumínico, com boa climatização, melhor iluminação natural. Constaram no projeto e na execução da Eco Residência, as bandeiras móveis sobre as esquadrias de madeira da casa. As bandeiras móveis têm altura de 30 cm e foram confeccionadas em madeira e vidro. Todos os ambientes da habitação são dotados de ventilação natural, por meio de portas, bandeiras sobre as esquadrias ou janelas. Os ambientes escolhidos para estudo foram a sala (sem laje) e o quarto com laje. Na Figura 2 é apresentada a planta baixa da Eco-Residência.

Figura 2 - Planta baixa do pavimento térreo da Eco Residência.



Fonte: Rocha Et al.(2015)

Previamente ao trabalho experimental foi planejada a composição de três tratamentos que correspondem a diferentes tipos de abertura para as trocas térmicas nos ambientes a serem estudados. As rotinas de tratamento são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Tratamento de rotina de abertura de ventilação

| | Descrição | | Período (horário intervenção: 07 às 18 h) |
|---|-------------------------------|-------------------------------|--|
| | Abertos | Fechados | |
| 1 | Bandeiras, Núcleo das janelas | | Dias 14, 21, 28 /janeiro e 04, 11, 18, 25/fevereiro/2016 |
| 2 | Bandeiras, | Núcleo das janelas | Dias 12, 20, 27/janeiro e 03, 10, 17, 24/fevereiro/2016 |
| 3 | --- | Núcleo das janelas, Bandeiras | Dias 15,16,17; 23,24, 29,30,31/jan. 05,06,07,12,13,14, 26,27,28 fev. |

Conforme Lyra (2007), o Voto Médio Estimado (PMV) permite avaliar o conforto térmico de um recinto fechado, prevendo a sensação térmica para qualquer combinação entre o nível de atividade de uma pessoa ($W.m^{-2}$), a vestimenta (Clo) e quatro variáveis climáticas: temperatura do ar ($^{\circ}C$), temperatura de globo ($^{\circ}C$), velocidade do ar ($m.s^{-1}$) e umidade relativa do ar (%).

Assim, a primeira etapa prática da análise do conforto térmico diz respeito à obtenção e armazenamento dos dados da temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo e velocidade do ar. Para a execução da coleta de dados foi confeccionada uma Estação móvel, composta de uma estrutura de ferro e instalada no centro da sala. Esta Estação foi associada a uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única, denominada arduíno (que funcionou como datalogger) ao qual foram conectados os sensores para obtenção de temperatura e de umidade, de temperatura de globo negro, bem como o de velocidade do vento. A Estação meteorológica é apresentada na Figura 3.

Figura 03 - Estação meteorológica composto de arduíno tipo Mega e sensores para obtenção e dados de temperatura, umidade e velocidade do vento.



Fonte: os autores

As medições ocorreram nos sete dias consecutivos da semana, ao longo do período compreendido entre 11 de janeiro e 27 de fevereiro do ano de 2016. Trata-se de período do verão brasileiro, meses em que se observa grande adversidade térmica. A intervenção da abertura das esquadrias ocorreu no horário das 7 às 18 h, com coleta de dados em intervalos de 30 min.

Visto que o ambiente analisado não se encontrava habitado, foi prevista uma simulação, que variava com o horário, de acordo com o que é mostrado no Quadro 02.

Quadro 02 - Valores atividades e vestimentas. Simulação para o cálculo do PMV/PPD

| Horário | Atividade ($w.m^{-2}$) | Vestimenta (clo) |
|-----------|----------------------------------|--|
| 0 às 6 h | Deitado (46) | Camisa comprida, cuecão e calça grossa (0,716) |
| 6 às 22 h | Em pé, atividade doméstica (116) | Cueca, camiseta, calça fina (0,40) |
| 22 às 0 h | Deitado (46) | Camisa comprida, cuecão e calça grossa (0,716) |

Fonte: Lamberts (2007)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de PMV e PPD, para todos os tratamentos, na simulação descrita, são apresentadas nas Figuras 4 a 6. O trecho destacado consta de zona em que as pessoas se sentem termicamente satisfeitas.

Figura 4- Curvas de PM33V do QUARTO, SALA para Bandeira e Janela abertas.

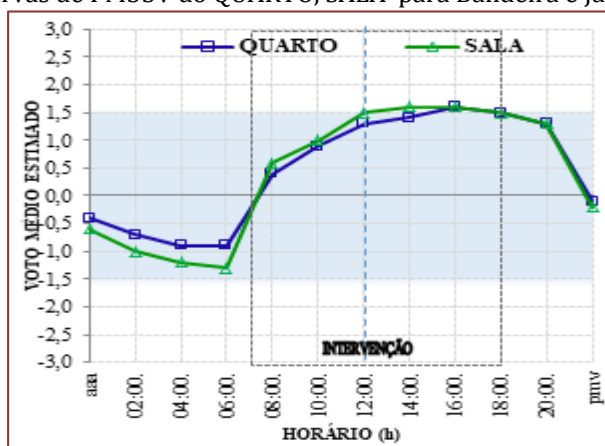


Figura 5- Curvas de PMV do QUARTO, SALA para Bandeira aberta e Janela fechada.

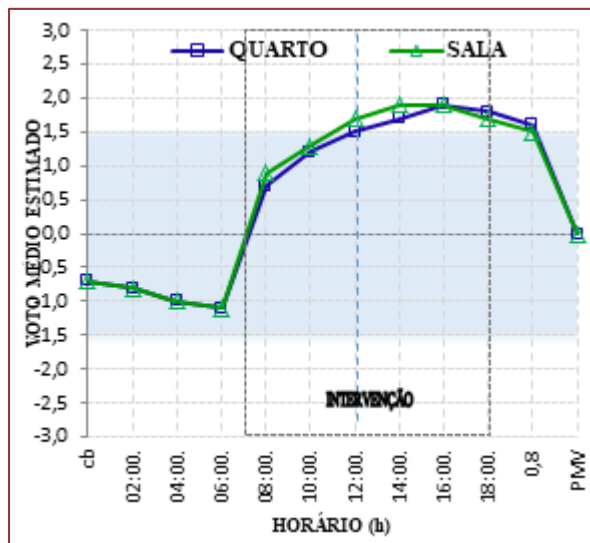
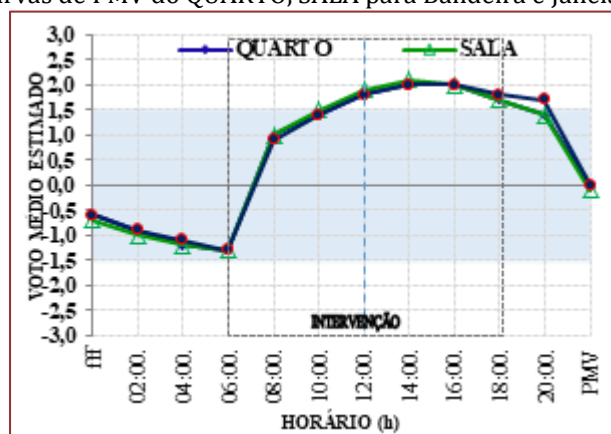


Figura 6- Curvas de PMV do QUARTO, SALA para Bandeira e Janela fechadas.



Os resultados mostrados através dos gráficos de PMV para a simulação em tela demonstram coerência quando comparados com a distribuição de temperatura ao longo do dia para os ambientes analisados. Os maiores valores para os dois índices, que classificam os recintos com algum grau de desconforto por temperatura elevada, ocorrem no período vespertino, mais precisamente no intervalo compreendido entre 14 e 16 h. Estes resultados coincidem com as temperaturas máximas dos ambientes estudados, que acontecem nesse mesmo período. Da mesma forma, o maior desconforto pelo frio acontece pela manhã, entre as 4 e 6 h, horário da temperatura mínima registrada nos recintos. O mínimo para o PMV observado oscilou na faixa entre -1,0 e -1,3, enquanto o PPD correspondente ficou na ordem de 22 a 35 %.

A pior situação envolvendo os dois ambientes é quando todas as aberturas de ventilação estão fechadas. No período vespertino, mais precisamente às 14 h, a sala pode ser considerada como o ambiente mais quente, chegando a apresentar um PMV máximo de 2,1 e PPD correspondente em torno de 82,9%. Em seguida vem o quarto, ambos com PMV máximo de 2 e PPD 80,6%.

Em relação ao período matutino, constata-se um maior conforto térmico, visto que na maioria dos casos, os ambientes não ultrapassaram a zona ligeiramente quente antes das 10 h. Neste período, os piores resultados para a sala e o quarto foram observados nos tratamentos que incluía o fechamento da janela. Por outro lado, os melhores resultados para o quarto e a sala podem ser vistos quando as janelas estão abertas.

4. CONCLUSÕES

Considerando os índices de conforto térmico que associam variáveis climáticas com parâmetros individuais, o procedimento baseado em uma avaliação fundamentada pelos índices PMV e PPD caracterizou os ambientes estudados no período de verão e no horário vespertino, permitindo afirmar que as pessoas percebem o ambiente térmico da sala e do quarto com laje como “ligeiramente quente”, mesmo quando expostas a maior ventilação (janelas e bandeiras abertos). Por outro lado, no horário matutino, antes das 7 h, os ambientes podem ser classificados termicamente como “ligeiramente frios”, mesmo quando todas as janelas e bandeiras encontram-se fechados. Os resultados mostram que o conforto ótimo é atingido em torno de 8 h, para todos os ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

- [1] Lamberts, R.; Xavier, A. A. de P.; Goulart, S.; Vecchi, R. de. Conforto e stress térmico. Apostila da disciplina ECV 4200: Conforto Ambiental. Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. 139p.
- [2] Lamberts R.; Desempenho Térmico de Edificações. 5ª Ed. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. 182p.
- [3] Lyra, D. S. F. M. Aplicabilidade de índices de conforto térmico: um estudo de caso em Salvador – BA. Universidade Federal da Bahia. 2007. 132 p. Dissertação Mestrado.
- [4] Pinto, V. L. R. Reabilitação Integrada de um Edifício Visando a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior. Portugal: Universidade do Minho. 2014. 148p. Dissertação Mestrado.
- [5] Rocha, V. de P. T.; Baracuh, J. G. de V.; Furtado, D. A.; Francisco, P. R. M. Eco residência rural. In: Baracuh, J. G. de V.; Furtado, D. A.; Francisco, P.R.M. Unidade de Tecnologias Integradas para Conservação de Recursos Hídricos. Campina Grande: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; Universidade Federal de Campina Grande; *Centro de Desenvolvimento, Difusão e Apoio Comunitário*, 2015. Cap.11, p.103-107.
- [6] Vieira, C. C. Conforto térmico e iluminação natural no edifício administrativo da escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo. 2008. 187p. Dissertação de Mestrado.

Capítulo 16

Aquecedor solar em casas populares: Economia ou desperdício de água?

Gizele Poltronieri do Nascimento

Paulo Henrique Fernandes Zanandrea

Afonso Celso de Souza Oliveira

Resumo: Devido à importância de se preservar água no planeta, em especial no Brasil, em função da diminuição de chuvas nas cabeceiras dos rios, e a crescente crise hídrica que o país se encontra, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de controle de temperatura automático dos chuveiros instalados em casas populares que usam como fonte de aquecimento o aquecedor solar. O controle é feito por meio de um sensor de temperatura que envia dados de temperatura a um microcontrolador arduíno, para que seja realizado o ajuste automático de duas válvulas quente e fria e proporcione a economia do consumo de água para ajuste da temperatura pré-selecionada pelo usuário. O trabalho foi proposto pela pesquisadora à Companhia Espírito Santense de Saneamento para realizar o levantamento de dados de consumo de água antes e após o projeto Boa Energia Solar, implantado pela empresa Espírito Santo Centrais Elétricas S.A. como forma de justificar a viabilidade para implantar um protótipo que utiliza componentes de baixo custo e é um estudo de caso para casas populares em um bairro de risco social no estado do Espírito Santo.

Palavras-Chave: Aquecedor Solar, água, economia, casas populares, automação.

1. INTRODUÇÃO

A crise hídrica enfrentada nos últimos anos, além dos aumentos na conta de energia elétrica, provocam a reflexão sobre qual caminho a produção e o uso de energia deve seguir. Não restam dúvidas que o consumo consciente e a maior participação de outras tecnologias, preferencialmente renováveis, para a geração de energia elétrica são, mais do que nunca, imprescindíveis para manutenção e desenvolvimento econômico sem sacrifícios desproporcionais ao meio ambiente (Reis, 2011).

A empresa Espírito Santo Centrais Elétricas S.A (ESCELSA), distribuidora de energia elétrica do grupo EDP, do estado do Espírito Santo, implantou através do projeto Boa Energia Solar, em casas populares da Grande Vitória situada no estado do Espírito Santo, a substituição dos chuveiros elétricos existentes por outros mais eficientes, com a instalação de painéis solares para aquecimento de água trazendo uma economia de até 30% na conta de energia. Em média o tempo que se gasta para controlar a temperatura do chuveiro com aquecedor solar como fonte única de aquecimento da água, varia de acordo com usuário, enquanto realiza o controle, o consumo de água é desperdiçado até que se atinja o valor desejado.

A Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) empresa responsável pela captação, tratamento, distribuição de água e da coleta e tratamento de esgoto da maioria dos municípios do estado do Espírito Santo, se preocupa com o meio ambiente, realizando constantes programas de combate ao desperdício de água.

Deste modo, o presente trabalho em parceria com a CESAN, demonstrou ser um estudo inovador para este projeto, com a análise das variáveis das demandas de água antes e após a implantação do aquecedor solar implantado nas casas populares do bairro de Jabaeté região de Terra Vermelha, do município de Vila Velha, situado no estado do Espírito Santo, e propôs um modelo didático e tecnológico, para gerar eficiência no sistema do uso correto do projeto na economia de água para empresa e usuário final e consequente redução de custo.

O objetivo geral deste trabalho foi evidenciar o desperdício de água ocasionado em chuveiros cujo processo de aquecimento é feito por painel solar (serpentina embutida em estufa) e propor, por meio de um protótipo uma solução mais eficiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi realizado a análise dos dados de consumo de água dos usuários coletados no bairro de Jabaeté região de Terra Vermelha, do município de Vila Velha, situado no estado do Espírito Santo, antes e após da implantação do projeto Boa Energia Solar pela empresa ESCELSA, por meio da conta de água da CESAN, bem como traçar um gráfico da média de consumo. O projeto contemplou 4240 casas populares onde foram instalados os aquecedores solares, mas o estudo de caso foi para as 909 residências do bairro de Jabaeté, em Vila Velha, Espírito Santo, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Números de unidades residenciais contempladas com o projeto.

| MUNICÍPIO | BAIRROS | UNIDADES RESIDENCIAIS |
|------------|--------------------------|-----------------------|
| SERRA | Serra Dourada I, II, III | 2149 |
| | Eldorado | 218 |
| | Novo Horizonte | 179 |
| VILA VELHA | Jacarenema | 288 |
| | Jabaeté | 909 |
| CARIACICA | Prolar | 98 |
| | Itanguá | 240 |
| CASTELO | Cava Roxa | 112 |
| VITÓRIA | Nova Palestina | 26 |
| | Estrelinha | 21 |
| TOTAL | | 4240 |

Fonte: Escelsa (2013).

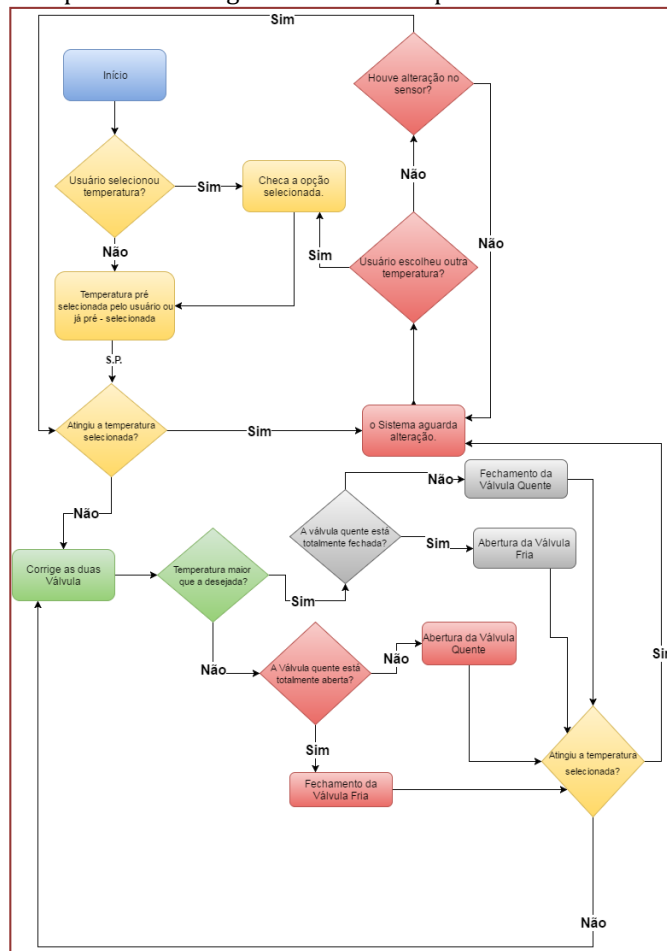
A metodologia também consistiu em construir um protótipo de baixo custo para aplicação nas casas populares, a fim de auxiliar a consumir menos água no aquecimento ou equalização da temperatura final de banho. O sistema é específico para casas populares, deste modelo que foi apresentado, para sistema residencial que use como aquecimento de água o aquecedor solar e tenha como saída o chuveiro.

A tecnologia em software e *hardware* utilizada para o desenvolvimento deste protótipo foi escolhidas por ser gratuita, de código aberto e usualmente aplicadas a projetos de baixo custo. O Modelo de misturador

objetivou trazer conforto e segurança ao usuário proporcionando a temperatura ideal de banho quase instantaneamente, sem que o usuário gaste muito tempo e água neste processo. A plataforma usada foi a IDE Arduino, na qual foi desenvolvido o software que faz o controle da temperatura utilizando o sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água, transmitindo essa temperatura ao microcontrolador que promove a abertura e fechamento das válvulas nos registros internos.

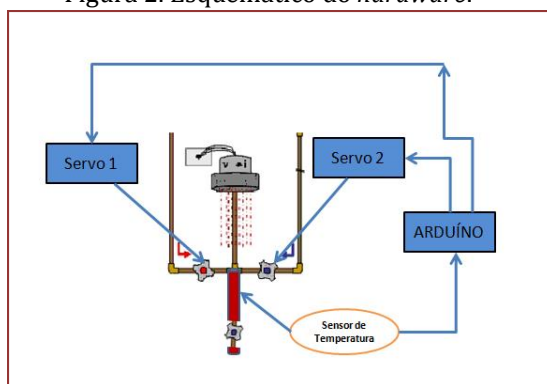
A solução desenvolvida consiste em um sistema composto por um protótipo que realiza a leitura da temperatura através do sensor no final do processo próximo à válvula manual e compara com a temperatura pré-selecionada pelo usuário, avalia o valor da temperatura, e realiza o ajuste de duas válvulas controlando a abertura e fechamento até que atinja a temperatura programada. A Figura 1 apresenta o fluxograma de processo ilustrando o loop de funcionamento do sistema.

Figura 1. Fluxograma de processo da lógica desenvolvida para abertura e fechamento de válvula.



Na montagem do *hardware* foram utilizados os seguintes materiais: Arduino UNO ATmega328P, válvulas e conexões hidráulicas, sensor de temperatura DS18B20, servo motor HPI SF-10W, Leds e resistores. A Figura 2 mostra o esquemático de como foi montado o *hardware*.

Figura 2. Esquemático do hardware.



Uma das possíveis aplicações reais do sistema desenvolvido neste trabalho é possibilitar a segurança e conforto ao usuário, além da economia de água no controle da temperatura de banho, um benefício ao meio ambiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de justificar a implantação do projeto, foi coletado no bairro de Jabaeté na região de Terra Vermelha, Vila Velha, no estado do Espírito Santo uma pesquisa de campo para levantamento dos dados do usuário. A pesquisa realizada pela aluna entre os dias 10/01 a 24/01/2016 compreendeu em um questionário realizado com entrevista aos moradores das casas populares, beneficiadas com aquecedores solares doados através do programa Boa Energia Solar pela empresa ESCELSA do Grupo EDP no ano de 2013. A seguir foi realizado um estudo junto a CESAN para coletar os dados de consumo de água em um ano para cada usuário e traçar uma média de consumo anual de m^3 /morador. Foi feita a pesquisa em 130 casas do universo de 909, porém muitas residências embora tenham sido contempladas pelo programa Boa Energia Solar, como se trata de uma região de risco social, e casas populares, não possuem registro na CESAN, ou usam a água de forma irregular, realizando desvio ou furto de água. No total de 130 casas, somente 66 casas estão com registros em conformidade legal. Deste universo pode-se concluir que em média para estas casas populares, o universo do estudo reduz para 450 casas com registro regular na CESAN, que se tem uma amostragem média de 15% correspondente as 66 casas. Para cada residência foi realizada a medição do m^3 de água antes e após a implantação do aquecedor solar pela ESCELSA, que ocorreu no ano de 2013, para isso foi desconsiderado a medição deste ano. Foi feita a medição do ano 2012 e de 2014, considerando o consumo anual e realizando a média por consumidor por casa.

A Tabela 2 a seguir demonstra esta medição de fatura em m^3 de água anual para uma residência unifamiliar com 5 moradores.

Tabela 2. Fatura em m^3 de água do ano de 2014 residencial unifamiliar com 5 moradores.

| FATURA DE ÁGUA 2012 | | FATURA DE ÁGUA 2014 | |
|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| MÊS | CONSUMO MEDIDO (m^3) | MÊS | CONSUMO MEDIDO (m^3) |
| jan/12 | 9,3 | jan/14 | 12,0 |
| fev/12 | 9,3 | fev/14 | 10,0 |
| mar/12 | 11,0 | mar/14 | 11,0 |
| abr/12 | 10,6 | abr/14 | 9,3 |
| mai/12 | 11,0 | mai/14 | 11,3 |
| jun/12 | 11,0 | jun/14 | 9,6 |
| jul/12 | 9,6 | jul/14 | 10,0 |
| ago/12 | 10,0 | ago/14 | 18,0 |
| set/12 | 10,6 | set/14 | 10 |
| out/12 | 10,0 | out/14 | 16,0 |
| nov/12 | 10,0 | nov/14 | 13,0 |
| dez/12 | 11,0 | dez/14 | 9,3 |

Fonte: CESAN (2016).

Usando o mesmo método e extraindo a média anual de m³/consumidor para cada um dos medidores (foi realizado um estudo de campo da quantidade de moradores por residência) e fazendo a média global obtemos a Tabela 3 que mostra o comparativo da média de consumo anual de m³/consumidor de água antes e após o projeto instalado, tendo como referencia as 66 residências e o percentual de aumento de consumo de água.

Tabela 3. Comparativo da média de consumo anual do m³/consumidor de água para 66 residências.

| Antes | Depois | Diferença | Aumento |
|-------|--------|-----------|---------|
| 29,5 | 37,5 | 8 | 27% |

Fonte: CESAN (2016).

Este resultado tem um impacto significativo visto que representa um aumento médio de 27%, o que justifica a aplicação de uma medida de controle, porem como se trata de casas populares este projeto deve ter baixo custo.

4. CONCLUSÃO

Visto que a crise hídrica é um fator de impacto ambiental considerável nos dias de hoje, visto que a população que tem pouco acesso a informações de medidas de economia a desperdício de água é a população com menor poder aquisitivo, este projeto aponta de forma simples e de baixo custo, usando a automação de forma a ser uma solução no sentido de minimizar e agregar valores às empresas concessionárias de gerenciamento de recursos hídricos no controle do uso correto da água e menor gasto.

O apoio da CESAN em parceria com IFES foi fundamental para validação do projeto, visto que este é projeto pioneiro em realização de coleta de análise de consumo médio de gasto de água para temperar a água nos chuveiros com uso do aquecedor solar. Os dispositivos de automação a baixo custo como arduíno são de grande relevância quando se fala em aplicação em casas populares.

No que se relacionam aos objetivos, todos foram atingidos em plenitude, pois o resultado obtido corresponde com o esperado. Espera-se com este estudo fomentar a discussão sobre este gasto de água e formas de criar ferramentas de controle.

AGRADECIMENTOS

A CESAN pela parceria com IFES para realização do projeto.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil.3. ed. Brasília, 2008. 236p.
- [2] Reis, L. B. dos. Geração de Energia Elétrica. 2.ed. Barueri: s.n. 459p.
- [3] Achão, C. da C. L.; e Schaeffer, R. Energia e renda no Brasil: um retrato do consumo no setor residencial. In: Anais do X Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro: X CBE. p.2403-2417,2004.
- [4] Schaeffer, R. et al. Energia e pobreza: problemas de desenvolvimento energético e grupos sociais marginais em áreas rurais e urbanas do Brasil. CEPAL. Nações Unidas: Santiago de Chile, 2003.
- [5] Menezes, T. L. D. Automação para chuveiro elétricos em sistema de Aquecimento solar. Brasília, UniCeub, 2013.
- [6] Ambiente Energia. Chuveiro elétrico é mais econômico que aquecedores. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2010/05/chuveiro-eletrico-e-mais-economico-que-aquecedores/3101>. Acesso em: 21 de Março de 2016.
- [7] EDP. Energia de Portugal. Escelsa leva projeto Boa Energia Solar para dois bairros no município de Vitória. Disponível em: <http://www.edp.com.br/distribuicao/edpescelsa/noticias/Paginas/2013/08/EDP-Escelsa-leva-projeto-Boa-Energia-Solar-para-doisbairros%E2%80%94nomunic%C3%A2o-de-Vit%C3%B3ria.aspx%3E>. Acesso em: 21 de Março de 2016.

Capítulo 17

Sistema fotovoltaico no aeroporto internacional de Manaus: Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de implantação usando simulação computacional

Carlos Gomes Fontinelle

Jandecy Cabral Leite

Carlos Magno Cássio de Assis

Resumo. Atualmente, a inserção de energias renováveis na composição da matriz energética brasileira tem se mostrado em franca expansão, principalmente devido aos diversos problemas ambientais decorrentes do uso de combustíveis fósseis. A energia solar é uma fonte renovável de energia, limpa, silenciosa e o painel fotovoltaico pode ser instalado em qualquer local que receba luz solar. Deste modo, esta modalidade de energia ganha mais espaço e popularidade no mundo inteiro, principalmente no Brasil, não apenas pelas condições climáticas favoráveis, mas também pelo custo atual elevado da energia elétrica. Dado ao grande potencial de insolação do território brasileiro, os sistemas fotovoltaicos tornam-se uma alternativa bastante atrativa principalmente em aeroportos que são locais tipicamente grandes, horizontais, ensolarados, apresentam poucas áreas de sombreamento e possuem perfil de consumo energético elevado. O ambiente de estudo deste trabalho foi o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes localizado em Manaus, Estado do Amazonas. O objetivo desse estudo foi inspecionar algumas áreas adequadas para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental para implantação desses sistemas. Os valores numéricos dos projetos foram comprovados por meio de softwares livres de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Para este trabalho, foram elaboradas duas propostas de projeto: 1) Primeira proposta: 4,6MW (demanda contratada do Aeroporto), 1.a) 14.832 painéis fotovoltaicos, 1.b) Investimento de R\$ 19.500.000,00, 1.c) Payback de 8,6 anos, 1.d) VPL de R\$ 60.906.929,00, 1.e) TIR de 12,5%, 1.f) Redução anual de 495,1tCO₂; 2) Segunda proposta: 402kW (carga do estacionamento de funcionários do aeroporto), 2.a) 1.296 painéis fotovoltaicos, 2.b) Investimento de R\$ 1.732.636,00, 2.c) Payback de 8,8 anos, 2.d) VPL de R\$ 5.310.732,00, 2.e) TIR de 12,3%, 2.f) Redução anual de 43,4tCO₂. Neste contexto, a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no referido aeroporto mostrou-se viável nos aspectos técnico, econômico e ambiental.

Palavras-chave: Energia Renovável, Energia Solar, Aeroporto.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pereira *et al.* (2006), no atual cenário energético, existe uma preocupação crescente com a preservação do meio ambiente no que tange à poluição e ao impacto ambiental. Essa necessidade está impulsionando a comunidade científica mundial a pesquisar e desenvolver fontes de energia que sejam renováveis e limpas, pois a queima de combustível para geração de energia elétrica é responsável pela emissão de poluentes, tais como: dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO). Outros fatores motivadores são o aumento da demanda energética, a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais e a mitigação do Efeito Estufa.

Por se tratar de uma fonte renovável, a energia solar fotovoltaica ganhou espaço e preferência pelos cientistas do mundo inteiro. De acordo com os dados da SolarPower Europe (2017), em 2015, a potência mundial fotovoltaica instalada era de 229,9GW e em 2016 chegou a marca de 306,5GW, ou seja, um aumento significativo de 33%.

No cenário nacional, a capacidade fotovoltaica instalada chegou a 141MW no final de julho de 2017 (Aneel, 2017a).

Segundo dados de 2015 da EPE (2016), 75,51% da oferta de energia elétrica brasileira está associada a fontes de energia renováveis assim distribuídas: 64% de energia hidráulica, 8% de energia de biomassa, 3,5% de energia eólica e 0,01% de energia solar.

Dado ao grande potencial de insolação do território brasileiro, a energia solar torna-se uma alternativa bastante atrativa, principalmente em aeroportos.

Braun *et al.* (2007) afirmam que os aeroportos, de uma forma geral, são ambientes propícios à instalação da energia solar fotovoltaica, pois são, na maioria das vezes, lugares providos de grandes edificações, ensolarados e possuem áreas de pouco sombreamento. Além disso, a pegada de carbono de aeroportos pode ser reduzida com a substituição da fonte de energia elétrica convencional pela fonte de energia solar fotovoltaica de acordo com (Sukumaran e Sudhakar, 2017).

O aumento da utilização do transporte aéreo nos últimos anos fez com que aeroportos do Brasil e de outros países estejam em constante expansão e modernização para acomodar a crescente demanda, buscando alternativas viáveis de aplicação de energias renováveis em seus sítios aeroportuários e a mitigação de emissão de CO₂ devido aos passageiros quando fazem uso da aviação.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva realizar um estudo de avaliação técnica, econômica e ambiental para implantação de um sistema de energia solar no Aeroporto Internacional de Manaus.

2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O Efeito fotovoltaico é a conversão direta da luz solar em energia elétrica. De acordo com Villalva e Gazoli (2012), este efeito consiste no aparecimento de uma diferença de potencial (tensão elétrica) nos terminais (eletrodos) de uma célula formada por uma composição de materiais semicondutores quando da absorção da radiação eletromagnética do Sol.

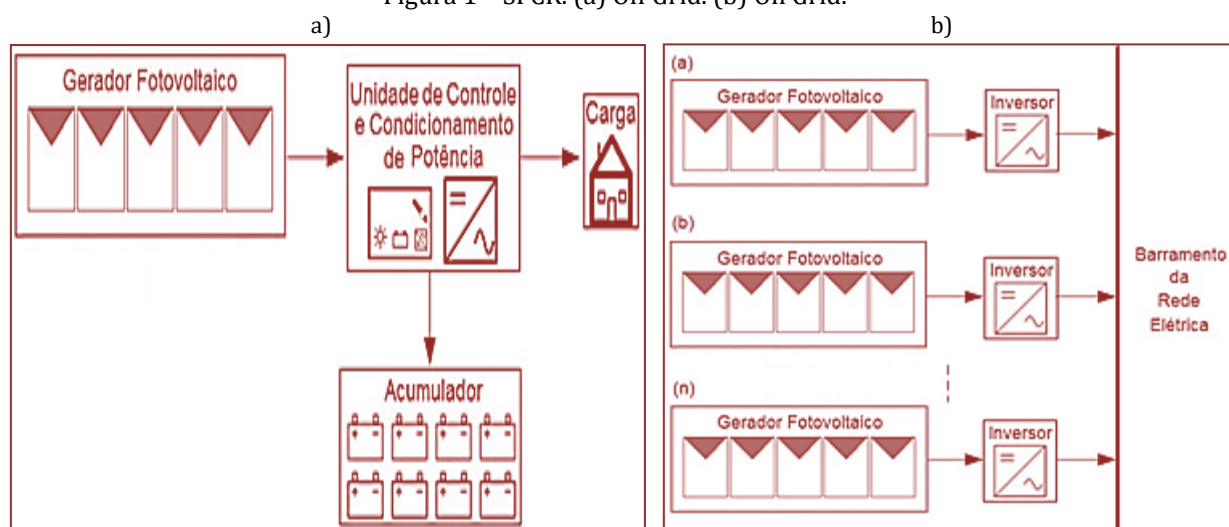
2.1. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Pinho e Galdino (2014), os Sistemas Fotovoltaicos são classificados em duas modalidades principais: isolados (*off-grid*) ou conectados à rede (*on-grid* ou *grid-tie*). É possível também operar sistemas híbridos, combinando mais de uma fonte de energia, por exemplo diesel-fotovoltaico.

A norma NBR 11704: 2008 define que sistema isolado (*off grid*) é um sistema fotovoltaico que não possui qualquer conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica. Geralmente, utiliza baterias para armazenamento de energia, conforme Fig. 1a.

O sistema *On-Grid* ou *Grid-Tie*, de acordo com a NBR 11704:2008, é aquele que efetivamente é conectado ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Também é conhecido como Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR), conforme Fig. 1b. Possui dois componentes principais: o gerador fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos, cabeamento e acessórios) e o inversor solar (dispositivo que converte tensão contínua em tensão alternada). Este sistema foi utilizado neste trabalho.

Figura 1 – SFCR. (a) Off Grid. (b) On Grid.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

3. METODOLOGIA

A pesquisa está estruturada em três etapas, sendo que a primeira etapa consistiu no levantamento de dados da localização geográfica do Aeroporto Internacional de Manaus, da verificação do recurso solar disponível na localidade, do levantamento de carga e do consumo de energia elétrica do aeroporto. A partir daí, foram determinadas a inclinação, a direção dos painéis fotovoltaicos e a quantificação da radiação solar incidente.

A segunda etapa apresentou o dimensionamento do SFCR. A unidade consumidora foi enquadrada em uma categoria de disponibilidade mensal, conforme as Resoluções Normativas (RNs) da Aneel nº 482/2012 e 687/2015. A partir desse ponto foi possível estimar a demanda energética do aeroporto por meio de consulta às faturas de energia e então dimensionar o gerador fotovoltaico e o inversor solar. Esta etapa apresentou, também, as especificações técnicas dos equipamentos. Foram realizadas pesquisas em catálogos de fabricantes e solicitação de informações técnicas junto aos fornecedores de componentes e acessórios fotovoltaicos. Cada equipamento foi escolhido de acordo com os requisitos estabelecidos nas normas técnicas brasileiras, diretrizes das resoluções normativas e procedimentos da Aneel. Na última etapa, foi realizada a análise estatística dos resultados obtidos.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (SBEG) está localizado no Município de Manaus, Estado do Amazonas. De acordo com a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), esse Aeroporto foi inaugurado em 1976 e está localizado na Zona Oeste da cidade.

Em 2015, foi concluída a obra de reforma e ampliação da capacidade de passageiros e aeronaves do aeroporto.

O Terminal de Passageiros 1 (TPS 1) foi ampliado de 39,4 mil m² para 97,25 mil m². Em função disso, a sua capacidade de atendimento de passageiros foi ampliada passando de 6,4 milhões para 18,2 milhões por ano, projetando um atendimento da demanda estimada para os próximos 35 anos.

É o maior aeroporto da Região Norte do Brasil e representa para esta Região, o grande elo de integração com o resto do Brasil e com o mundo, sendo considerado uma das principais portas de entrada da Região Amazônica, em virtude da dificuldade existente nas outras vias de transporte: a terrestre e a fluvial.

A Fig. 2a apresenta uma visão aérea do Aeroporto Internacional de Manaus, com destaque para o Terminal de Passageiros 1 e 2 (TPS 1 e TPS 2), Estacionamento de Funcionários e o Terminal de Logística de Carga (TECA).

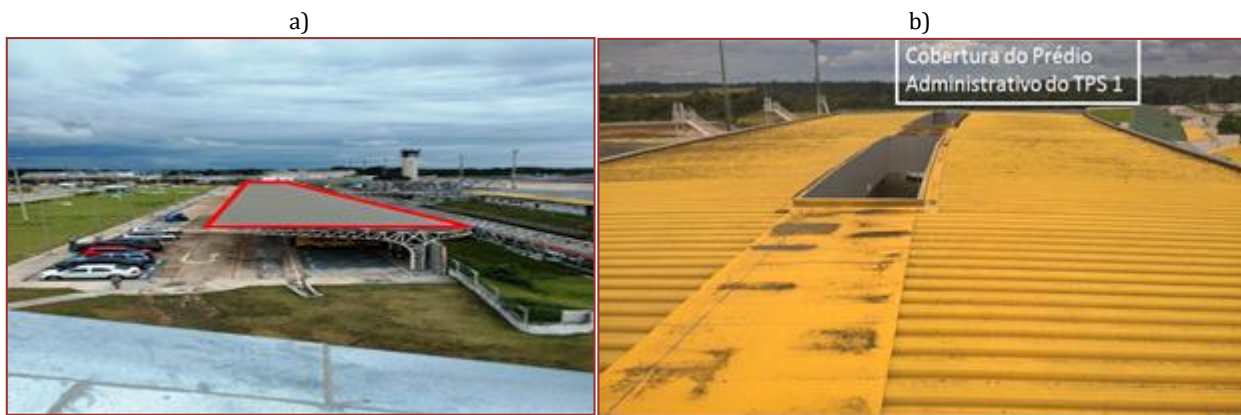
Figura 2 – Vista Aérea do Aeroporto Internacional de Manaus. (a) Ambientes de SBEG. (b) Áreas que atendem totalmente e parcialmente a implantação do SFCR em SBEG. Fonte: Infraero (2017).



A Fig. 2b mostra áreas de SBEG que podem atender total ou parcialmente a implantação do sistema. O local que atende a carga total possui área estimada de 450.000 m². Está localizado na parte interna do aeroporto (lado ar) entre as pistas de taxiamento de aeronaves. Uma área somente de 30.000 m² é necessária para implantação de uma usina fotovoltaica no solo. Além disso, este local é plano, sem sombreamento, facilita a manutenção, é próximo da edificação aeroportuária e respeita o Plano Diretor do Aeroporto.

A Fig. 3 mostra áreas de SBEG propícias para a instalação de um SFCR. A cobertura do Estacionamento de Funcionários, Fig. 3a, foi utilizada para dimensionar um SFCR para reduzir o consumo das cargas de iluminação do aeroporto. Possui área de 2.470 m². Este local foi escolhido, porque não possui sombreamento e sua estrutura metálica está adequada à inclinação, direção e peso dos painéis fotovoltaicos.

Figura 3 – Áreas potenciais para implantação de SFCR em SBEG. (a) Estacionamento de Funcionários. (b) Cobertura do Prédio Administrativo do TPS 1.



Fonte: Infraero (2017).

4. DIMENSIONAMENTO DO SFCR

Este tópico apresenta o dimensionamento do Projeto de SFCR considerando a Demanda Energética Total de SBEG (Demanda Contratada) e a Demanda da Potência Ativa consumida pelo Estacionamento de Funcionários.

Para o dimensionamento da Carga Total instalada em SBEG foi realizado o Projeto de uma Usina Fotovoltaica em atendimento às RNs 414/2010, 482/2012 e 687/2015 da Aneel.

Os projetos foram elaborados considerando os aspectos técnico, econômico e ambiental dos SFCRs e os cálculos foram comprovados por meio de simulação computacional usando os softwares RETScreen e SAM que são ferramentas computacionais para projetos de sistemas fotovoltaicos.

O programa RETScreen, conforme definição de Pinho e Galdino (2014), é uma ferramenta computacional para análise de projetos de energias renováveis. Foi desenvolvido no programa Excel e é distribuído gratuitamente pelo *Minister of Natural Resources* do Canadá. Neste trabalho, ele foi aplicado para simular os parâmetros econômicos e ambientais. Já o SAM (*System Advisor Model*) é um programa norte-americano gratuito desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* que orienta e facilita as pessoas do setor de energia renovável na tomada de decisões de projetos fotovoltaicos nos aspectos técnicos e econômicos. Esta ferramenta foi utilizada para simular os parâmetros técnicos dos projetos propostos neste trabalho.

A Fig. 4 apresenta os valores das variáveis climáticas de SBEG. Destaca-se nesta figura, a radiação solar incidente mensal do ano anterior (2016) cuja média anual é 4,63 kWh/m²/d. As coordenadas geográficas de SBEG, segundo Icea (2017), são: 03,02°S60,03°W.

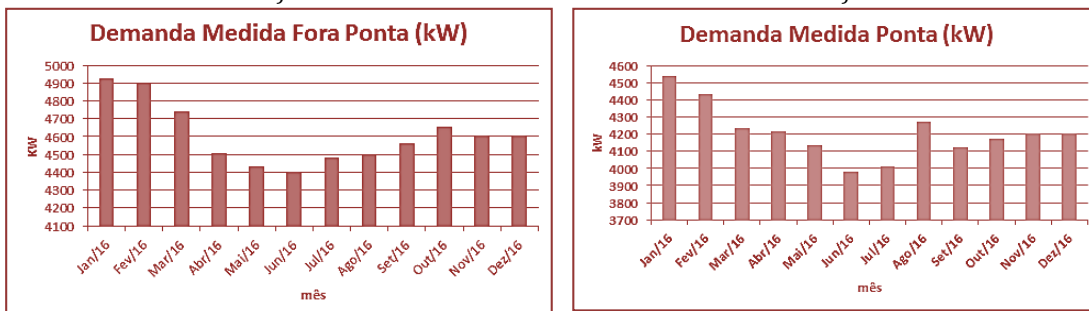
Figura 4 – Valores climáticos de SBEG

| Mês | Temperatura do Ar | Humidade relativa | Precipitação | Radiação solar diária - horizontal | Pressão Atmosférica | Velocidade do Vento | Temperatura do Solo | Graus-dia para aquecimento 18 °C | Refrigeração graus-dias 10 °C |
|--------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| | °C | % | mm | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C | °C-d | °C-d |
| Janeiro | 26,3 | 87,7% | 286,97 | 4,37 | 100,5 | 1,3 | 26,5 | 0 | 505 |
| Fevereiro | 26,3 | 88,0% | 291,93 | 4,32 | 100,6 | 1,2 | 26,5 | 0 | 456 |
| Março | 26,3 | 87,9% | 346,80 | 4,32 | 100,5 | 1,2 | 26,5 | 0 | 505 |
| Abril | 26,3 | 88,3% | 335,51 | 4,33 | 100,6 | 1,1 | 26,3 | 0 | 489 |
| Maio | 26,6 | 87,4% | 295,14 | 4,18 | 100,6 | 1,0 | 26,4 | 0 | 515 |
| Junho | 26,7 | 85,4% | 167,98 | 4,40 | 100,7 | 1,2 | 26,2 | 0 | 501 |
| Julho | 26,9 | 83,3% | 110,16 | 4,88 | 100,7 | 1,2 | 27,1 | 0 | 524 |
| Agosto | 27,4 | 81,1% | 96,69 | 5,22 | 100,7 | 1,2 | 29,0 | 0 | 539 |
| Setembro | 27,6 | 81,2% | 124,82 | 5,33 | 100,5 | 1,2 | 30,4 | 0 | 528 |
| Outubro | 27,6 | 82,0% | 140,04 | 5,10 | 100,5 | 1,2 | 30,5 | 0 | 546 |
| Novembro | 27,2 | 84,0% | 170,13 | 4,79 | 100,4 | 1,2 | 28,9 | 0 | 516 |
| Dezembro | 26,7 | 86,7% | 252,05 | 4,35 | 100,5 | 1,1 | 27,4 | 0 | 518 |
| Anual | 26,8 | 85,2% | 2.618,21 | 4,63 | 100,6 | 1,2 | 27,6 | 0 | 6.142 |
| Fonte | Solo | Solo | NASA | NASA | NASA | Solo | NASA | Solo | Solo |
| Medido a | | | | | m | 10 | 0 | | |

Fonte: RETScreen (2017).

Para mensurar a demanda energética total do aeroporto e, conseqüentemente, a potência dessa carga foram analisadas as faturas de energia elétrica do ano de 2016 e comprovou-se que a demanda contratada é 4,6MW, conforme Fig. 5. Neste trabalho, foi considerada a demanda medida Fora Ponta. O consumo médio mensal total Fora Ponta de SBEG em 2016 foi de 2.464.700kWh. Este consumo gerou uma fatura média mensal de R\$ 1.194.572,69 e, portanto, uma fatura média anual de R\$ 14.334.872,28. De acordo com a Resolução Normativa (RN) N^o 414 de 2010 da Aneel, o Posto Tarifário Fora Ponta é de 21horas.

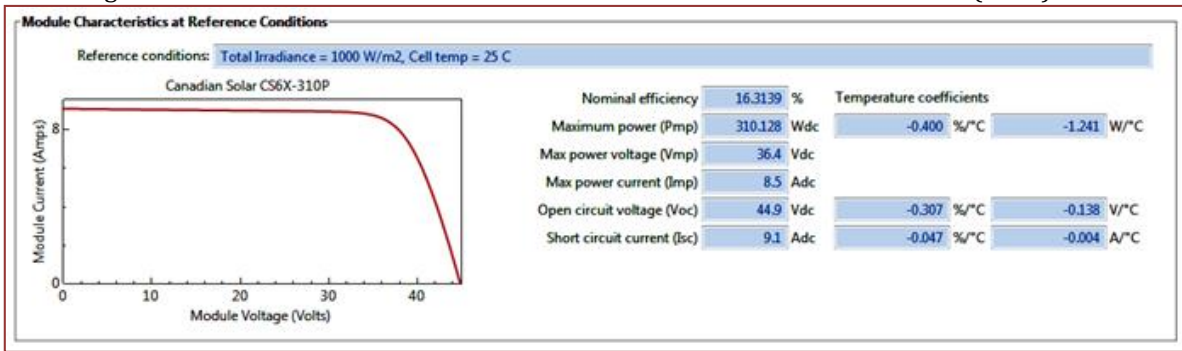
Figura 5 – Demanda Energética Anual de SBEG. (a) Fora Ponta (b) Na Ponta. Fonte: Infraero (2017).



Posteriormente, foi selecionado o módulo fotovoltaico e o inversor solar a partir das potências nominais do sistema e após pesquisa de mercado onde se comparou preços e especificações técnicas de diferentes fabricantes.

O módulo fotovoltaico selecionado no SAM para o dimensionamento foi o Canadian Solar CS6X-310P, tanto para a carga total como para a carga do estacionamento. As características elétricas deste módulo estão descritas na Fig. 6.

Figura 6 - Características elétricas do módulo fotovoltaico usado. Fonte: NREL (2017).



Como SBEG está na latitude 4º sul, a inclinação que melhor se adequa aos módulos fotovoltaicos é de 10º na direção norte. Este aumento de ângulo é para que não haja acúmulo de corpo estranho sobre os painéis que venha comprometer a potência do gerador fotovoltaico.

Os inversores solares selecionados para carga total e carga do estacionamento são, respectivamente, ABB:ULTRA-1500-TL-OUTD-2-US-690-x-y-z690V(CE2013) e INGECON:SUN-400TL U X330 indoor 330V(CEC 2015), conforme Fig. 7 e 8. O SAM analisa cada modelo selecionado em seu banco de dados e indica se existe compatibilidade elétrica com o sistema fotovoltaico dimensionado.

Figura 7 - Características elétricas do inversor solar usado para carga total. Fonte: NREL (2017).

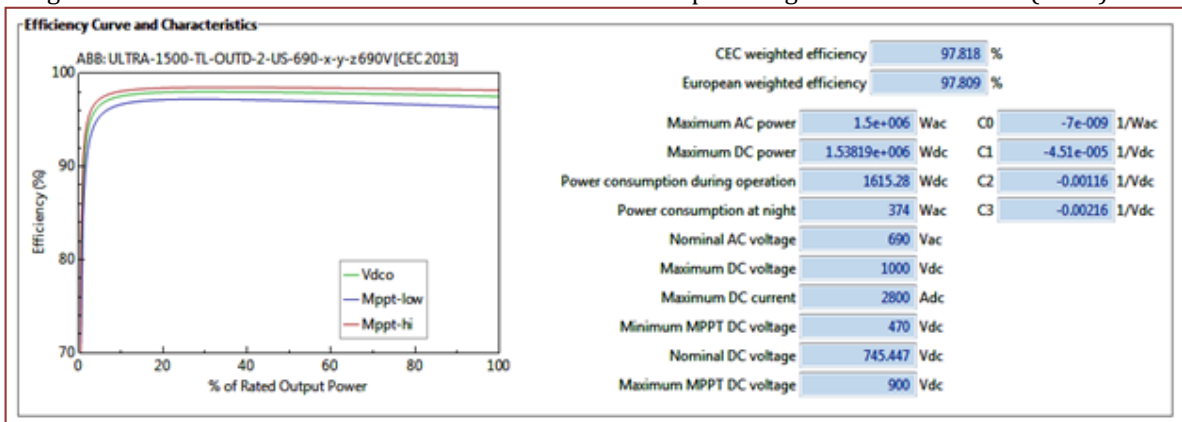
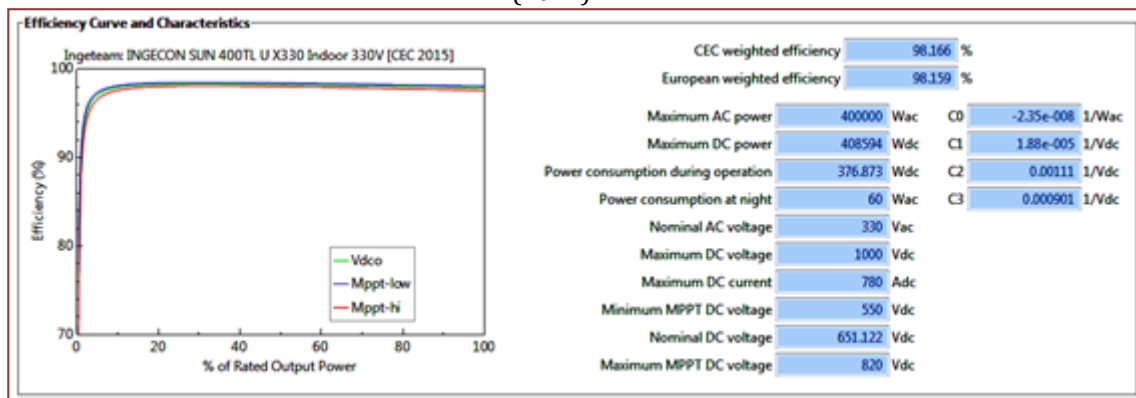


Figura 8- Características elétricas do inversor solar usado para carga do estacionamento. Fonte: NREL (2017).



4.1. PARÂMETROS TÉCNICOS (CALCULADOS E SIMULADOS) - CARGA TOTAL E CARGA DO ESTACIONAMENTO DE SBEG

As Tab. 1 e 2 e a Fig. 9 resumem, respectivamente, os valores calculados e simulados dos parâmetros técnicos dos projetos fotovoltaicos para carga total e carga do estacionamento de funcionários de SBEG. Nas Tab. 1 e 2, os custos referentes a “Serviços” correspondem à infraestrutura, manutenção e homologação junto à Concessionária.

A Fig. 10 apresenta o diagrama unifilar do projeto para ambos casos. As equações empregadas no dimensionamento dos projetos podem ser encontradas em Pereira e Oliveira (2011) e Villalva e Gazoli (2012).

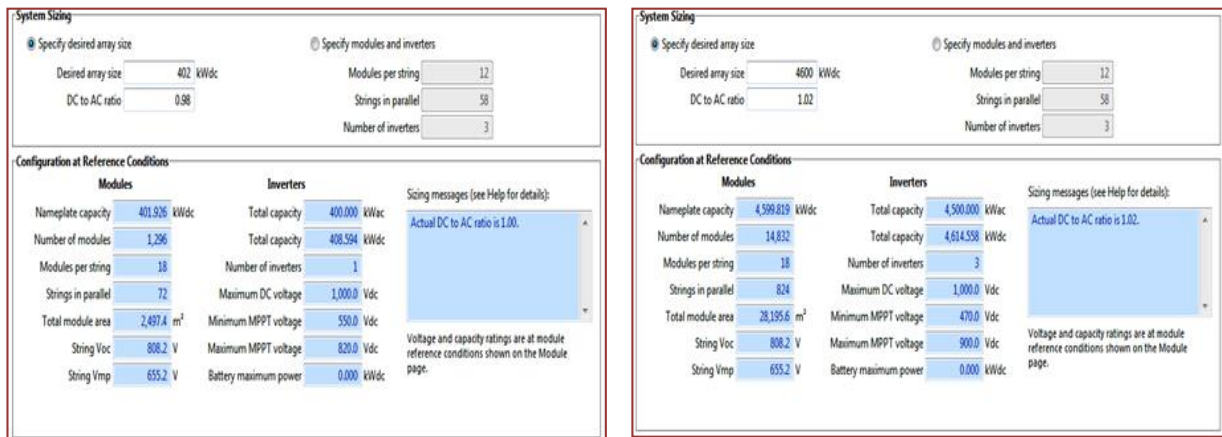
Tabela 1 – Resumo dos Parâmetros Técnicos do Projeto SFCR de SBEG: Carga Total.

| HSP | GFV | Módulo | Módulo | Inversor | Inversor | Energia exportada para Rede (Anual) |
|-------------------------|----------------------|----------------|------------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|
| kWh/m ² .dia | MW | Wp | Qtd | MW | Qtd | MWh |
| 4,63 | 4,6 | 310 | 14.832 | 1,5 | 3 | 6,037 |
| Módulo (Qtd) | Módulo (Preço Unit.) | Inversor (Qtd) | Inversor (Preço Unit.) | Serviços | Preço total | |
| 14.832 | R\$ 1.000,00 | 3 | R\$ 887.387,00 | R\$ 2.000.000,00 | R\$ 19.500.000,00 | |

Tabela 2 – Resumo dos Parâmetros Técnicos do Projeto de SFCR de SBEG: Carga do Estacionamento de Funcionários.

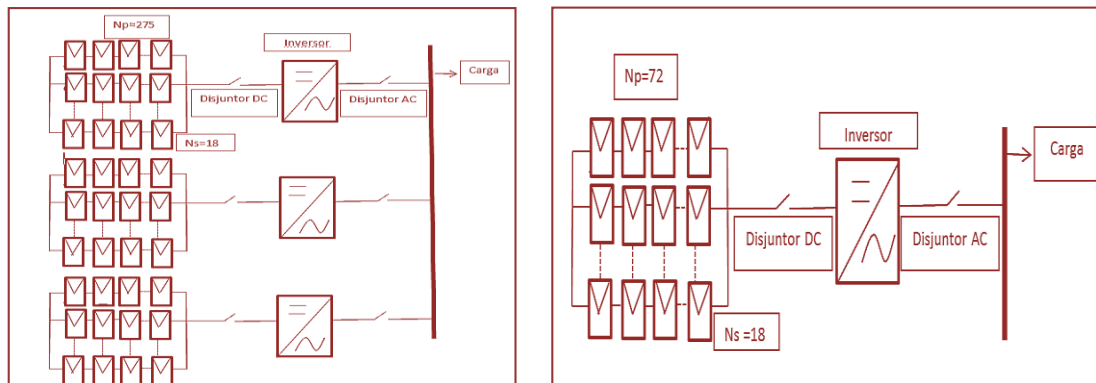
| HSP | GFV | Módulo | Módulo | Inversor | Inversor | Energia exportada para Rede (Anual) |
|-------------------------|----------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------|
| kWh/m ² .dia | kW | Wp | Qtd | kW | Qtd | MWh |
| 4,63 | 402 | 310 | 1.296 | 400 | 1 | 529 |
| Módulo (Qtd) | Módulo (Preço Unit.) | Inversor (Qtd) | Inversor (Preço Unit.) | Serviços | Preço total | |
| 1.296 | R\$ 1.000,00 | 1 | R\$ 236.636,00 | R\$ 200.000,00 | R\$ 1.732.636,00 | |

Figura 9 – Simulação dos Parâmetros Técnicos. (a) Carga do Estacionamento (b) Carga Total.



Fonte: NREL (2017)

Figura 10 – Diagrama do Projeto do SFCR. (a) Carga Total. (b) Carga do Estacionamento de Funcionários



4.2. PARÂMETROS ECONÔMICOS (CALCULADOS E SIMULADOS) - CARGA TOTAL E CARGA DO ESTACIONAMENTO DE SBEG

As métricas de desempenho econômico utilizadas foram: VPL, Payback e TIR. Segundo <www.treasy.com.br> (Treasy, 2017), o VPL (Valor Presente Líquido) traz ao valor presente um valor futuro, ou seja, informa quanto vale o dinheiro resultante do projeto depois de um determinado período, mas em valor presente. Deve ser positivo para que o projeto planejado seja viável. O Payback é o tempo de recuperação do investimento realizado. TIR (Taxa Interna de Retorno) é o valor percentual que mede o crescimento para um bom projeto. Esse valor deve ser positivo e maior que a taxa Selic de aproximadamente 10% (maio de 2017) para que o investimento seja seguro.

As Fig. 11 e 12 e Tab. 3 e 4 resumem os valores simulados e calculados, respectivamente, dos parâmetros econômicos dos projetos fotovoltaicos para carga total e carga do estacionamento de funcionários de SBEG. As equações empregadas no dimensionamento dos projetos podem ser encontradas em Gonçalves (2013) e no site <www.treasy.com.br > (Treasy, 2017).

Figura 11- Simulação dos Parâmetros Econômicos para Carga Total de SBEG.

| Parâmetros financeiros | | Custos Economia Receitas | | Fluxo de caixa anual | | | |
|--|----------------------|--|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Geral | | Custos iniciais | | Ano | Antes imposto | Após imposto | Cumulativo |
| Taxa de inflação | % | 10% | Custo inicial | # | \$ | \$ | \$ |
| Taxa de desconto | % | | Total de custos de investimento | 0 | -19.500.000 | -19.500.000 | -19.500.000 |
| Vida do projeto | ano | 25 | 100% | 1 | 2.574.304 | 1.930.728 | -17.569.272 |
| Financiamento | | Pagamento anual de custos e empréstimos | | 2 | 2.677.276 | 2.007.957 | -15.561.315 |
| Incentivos e subsídios | \$ | | - | 3 | 2.784.367 | 2.088.276 | -13.473.039 |
| Razão da dívida | % | | Total de custos anuais | 4 | 2.895.742 | 2.171.807 | -11.301.232 |
| Análise do imposto de renda | | Economia e receita anual | | 5 | 3.011.572 | 2.258.679 | -9.042.553 |
| Custo efetivo- imposto de renda | % | 25% | Receita com eletricidade exportada | 6 | 3.132.035 | 2.349.026 | -6.693.527 |
| Postergar prejuízo? | | Não | Total de economia e receita anual | 7 | 3.257.316 | 2.442.987 | -4.250.540 |
| Método de depreciação | | Balanco em declínio | Receita com eletricidade exportada | 8 | 3.387.609 | 2.540.707 | -1.709.834 |
| Regra semi-anual - ano 1 | sim/não | Não | Total de economia e receita anual | 9 | 3.523.113 | 2.642.335 | 932.501 |
| Base da taxa de depreciação | % | | Receita com eletricidade exportada | 10 | 3.664.038 | 2.748.028 | 3.680.529 |
| Taxa de depreciação | % | | Retorno do capital próprio | 11 | 3.810.599 | 2.857.949 | 6.538.479 |
| Isenção fiscal ? | sim/não | Não | Retorno do capital próprio | 12 | 3.963.023 | 2.972.267 | 9.510.746 |
| Receita anual | | Viabil. Financeira | | 13 | 4.121.544 | 3.091.158 | 12.601.904 |
| Receita com eletricidade exportada | | TIR antes impostos-capital próprio | | 14 | 4.286.406 | 3.214.804 | 15.816.708 |
| Eletricidade exportada p/ rede | MWh | 6.037 | TIR antes impostos - ativos | 15 | 4.457.862 | 3.343.397 | 19.160.105 |
| Preço eletricidade exportada | \$/kWh | 0,41 | TIR após impostos - capital | 16 | 4.636.176 | 3.477.132 | 22.637.237 |
| Receita com eletricidade exportada | \$ | 2.475.293 | TIR após impostos - ativos | 17 | 4.821.624 | 3.616.218 | 26.253.455 |
| Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada | % | 4% | Retorno simples | 18 | 5.014.488 | 3.760.866 | 30.014.321 |
| Receita pela redução de GEE | | Retorno do capital próprio | | 19 | 5.215.068 | 3.911.301 | 33.925.622 |
| Redução anual bruta de emissões de GEE | tCO ₂ /an | 495 | Retorno do capital próprio | 20 | 5.423.671 | 4.067.753 | 37.993.375 |
| | | Valor Presente Líquido (VPL) | | 21 | 5.640.618 | 4.230.463 | 42.223.839 |
| | | Economia anual no ciclo de vida | | 22 | 5.866.242 | 4.399.682 | 46.623.520 |
| | | \$/ano | | 23 | 6.100.892 | 4.575.669 | 51.199.189 |
| | | Razão custo benefício (C-B) | | 24 | 6.344.928 | 4.758.696 | 55.957.885 |
| | | | | 25 | 6.598.725 | 4.949.044 | 60.906.929 |

Fonte: RETScreen (2017)

Figura 12 - Simulação dos Parâmetros Econômicos para Carga do Estacionamento.

| Parâmetros financeiros | | Custos Economia Receitas | | Fluxo de caixa anual | | | |
|--|----------------------|--|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| Geral | | Custos iniciais | | Ano | Antes imposto | Após imposto | Cumulativo |
| Taxa de inflação | % | 10% | Custo inicial | # | \$ | \$ | \$ |
| Taxa de desconto | % | | Total de custos de investimento | 0 | -1.732.636 | -1.732.636 | -1.732.636 |
| Vida do projeto | ano | 25 | 100% | 1 | 225.500 | 169.125 | -1.563.511 |
| Financiamento | | Pagamento anual de custos e empréstimos | | 2 | 234.520 | 175.890 | -1.387.621 |
| Incentivos e subsídios | \$ | | - | 3 | 243.901 | 182.926 | -1.204.695 |
| Razão da dívida | % | | Total de custos anuais | 4 | 253.657 | 190.243 | -1.014.452 |
| Análise do imposto de renda | | Economia e receita anual | | 5 | 263.803 | 197.852 | -816.600 |
| Custo efetivo- imposto de renda | % | 25% | Receita com eletricidade exportada | 6 | 274.355 | 205.767 | -610.833 |
| Postergar prejuízo? | | Não | Total de economia e receita anual | 7 | 285.330 | 213.997 | -396.836 |
| Método de depreciação | | Balanco em declínio | Receita com eletricidade exportada | 8 | 296.743 | 222.557 | -174.279 |
| Regra semi-anual - ano 1 | sim/não | Não | Total de economia e receita anual | 9 | 308.612 | 231.459 | 57.180 |
| Base da taxa de depreciação | % | | Receita com eletricidade exportada | 10 | 320.957 | 240.718 | 297.898 |
| Taxa de depreciação | % | | Retorno do capital próprio | 11 | 333.795 | 250.346 | 548.244 |
| Isenção fiscal ? | sim/não | Não | Retorno do capital próprio | 12 | 347.147 | 260.360 | 808.605 |
| Receita anual | | Viabil. Financeira | | 13 | 361.033 | 270.775 | 1.079.380 |
| Receita com eletricidade exportada | | TIR antes impostos-capital próprio | | 14 | 375.474 | 281.606 | 1.360.985 |
| Eletricidade exportada p/ rede | MWh | 529 | TIR antes impostos - ativos | 15 | 390.493 | 292.870 | 1.653.855 |
| Preço eletricidade exportada | \$/kWh | 0,41 | TIR após impostos - capital | 16 | 406.113 | 304.585 | 1.958.440 |
| Receita com eletricidade exportada | \$ | 216.827 | TIR após impostos - ativos | 17 | 422.358 | 316.768 | 2.275.208 |
| Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada | % | 4% | Retorno simples | 18 | 439.252 | 329.439 | 2.604.647 |
| Receita pela redução de GEE | | Retorno do capital próprio | | 19 | 456.822 | 342.616 | 2.947.263 |
| Redução anual bruta de emissões de GEE | tCO ₂ /an | 43 | Retorno do capital próprio | 20 | 475.095 | 356.321 | 3.303.584 |
| | | Valor Presente Líquido (VPL) | | 21 | 494.099 | 370.574 | 3.674.158 |
| | | Economia anual no ciclo de vida | | 22 | 513.862 | 385.397 | 4.059.555 |
| | | \$/ano | | 23 | 534.417 | 400.813 | 4.460.368 |
| | | Razão custo benefício (C-B) | | 24 | 555.794 | 416.845 | 4.877.212 |
| | | | | 25 | 578.025 | 433.519 | 5.310.732 |

Fonte: RETScreen (2017)

Tabela 3 - Resumo dos Parâmetros Econômicos Projeto SFCR de SBEG: Carga Total.

| VPL (R\$) | Payback (anos) | TIR (%) |
|---------------|----------------|---------|
| 60.906.929,00 | 8,6 | 12,5 |

Tabela 4 - Resumo dos Parâmetros Econômicos do Projeto SFCR de SBEG: Carga do Estacionamento de Funcionários.

| VPL (R\$) | Payback (anos) | TIR (%) |
|-----------|----------------|---------|
| 5.310.732 | 8,8 | 12,3 |

4.3. ASPECTOS AMBIENTAIS - CARGA TOTAL E CARGA DO ESTACIONAMENTO DE FUNCIONÁRIOS DE SBEG

A partir do fator de emissão de Gás de Efeito Estufa (GEE) calculado para o Brasil a partir do software RETScreen, conforme Fig. 13, a Tab. 5 resume os valores calculados dos parâmetros ambientais dos projetos fotovoltaicos para carga total e carga do estacionamento de funcionários de SBEG. As equações empregadas no dimensionamento dos projetos foram deduzidas a partir de (RETScreen, 2017).

Figura 13- Fator de emissão de GEE no Brasil.

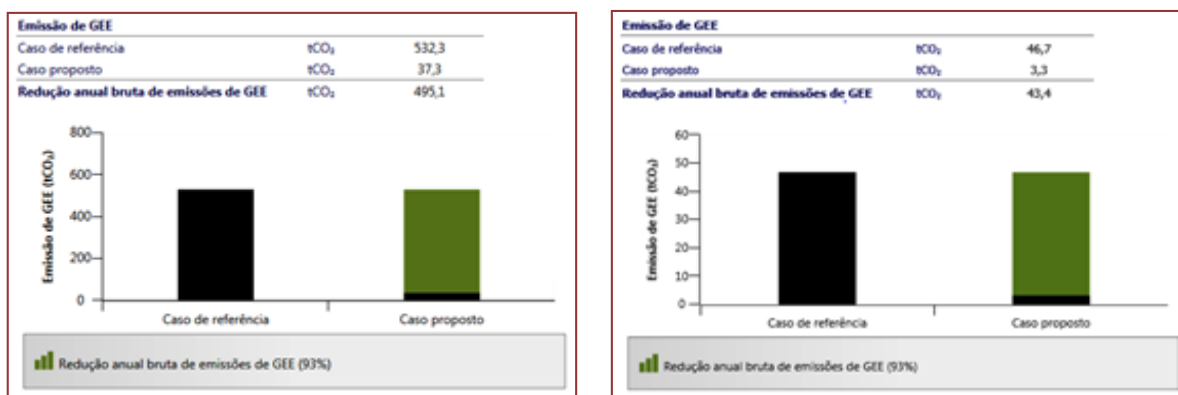
| Sistema elétrico de referência (Baseline) | Tipo de Combustível | Fator de Emissão de GEE (excl. T&D) tCO ₂ /MWh | Perdas T&D % | Fator de emissão de GEE tCO ₂ /MWh |
|---|---------------------|---|--------------|---|
| País - região Brasil | Todos os tipos | 0,082 | 7,0% | 0,088 |
| Eletricidade exportada p/ rede | MWh | 6.037 | Perdas T&D | 7,0% |

Fonte: RETScreen (2017).

Tabela 5 – Resumo dos Dados Ambientais do Projeto SFCR de SBEG: Carga Total e Carga do Estacionamento.

| Fator de emissão de CO ₂ (tCO ₂ /MWh) | Redução anual de CO ₂ (tCO ₂) | |
|---|--|-------------------------|
| | Carga Total | Carga do Estacionamento |
| 0,082 | 495,1 | 43,4 |

Figura 14 – Simulação dos Parâmetros Ambientais. (a) para carga total (b) estacionamento.



Fonte: RETScreen (2017).

Na Fig. 14, observa-se que a redução de CO₂ para o caso ideal de referência chega ao valor de 532,3 tCO₂ para a carga total e 46,7 tCO₂ para carga do estacionamento. No caso proposto, levando-se em consideração as perdas na transmissão e distribuição que inclui a perda de energia elétrica entre a usina e o usuário final, esse valor pode variar com a tensão de linha de transporte, distância do local da produção de energia, ponto de uso, consumo máximo de energia e temperatura ambiente. O software calcula essa perda em torno de 7% a 10%. Assim, o nível de redução de CO₂ decresce minimamente para valores de 495,13 tCO₂ para carga total e 43,43 tCO₂ para carga do estacionamento. Mesmo assim, consegue-se reduzir em 93% a emissão de GEE.

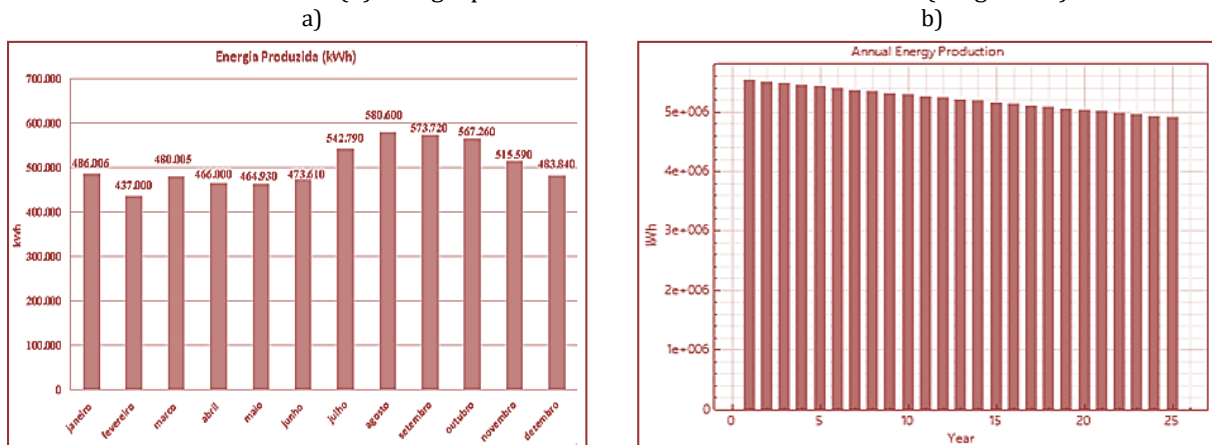
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE TÉCNICA

Os valores obtidos para carga total, por meio de simulação computacional, conforme Fig. 9b, foram: 14.832 painéis fotovoltaicos organizados em 18 strings em série e 824 em paralelo. O inversor solar escolhido possui potência nominal de 1.500kW, onde sua entrada de tensão contínua suporta uma tensão nominal de 1.000Vdc.

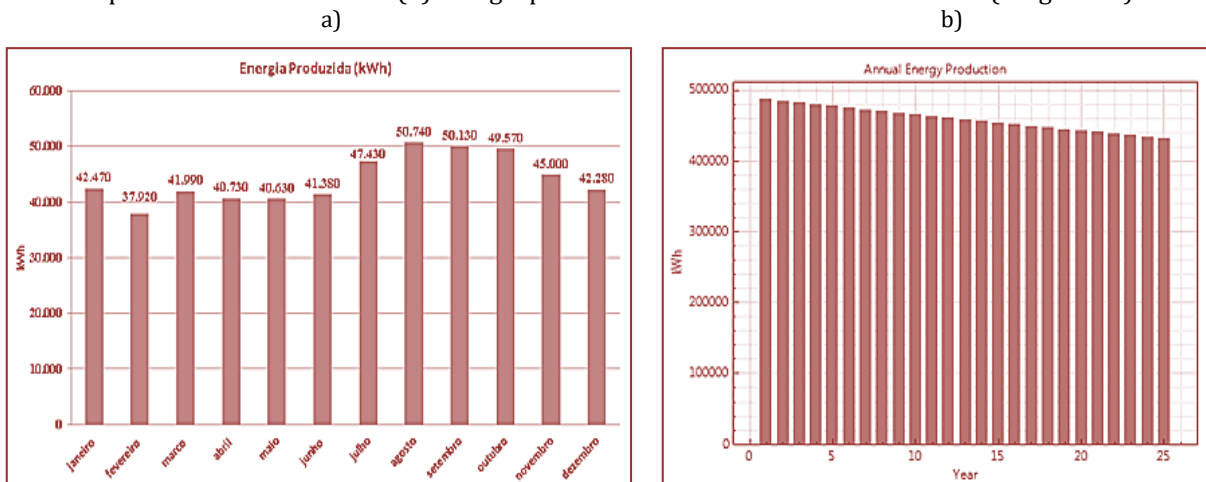
Esse valor deve ser respeitado fielmente, pois caso a tensão de entrada ultrapasse esse valor, o inversor pode danificar. A região de MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) do inversor encontra-se na faixa de 470Vdc a 900Vdc, totalmente compatível tanto com a tensão em circuito aberto (Voc) quanto com a de máxima potência (Vmp) do arranjo fotovoltaico que ficou compreendida entre 808,2V e 655,2V. Para a carga do estacionamento, Fig. 9a, os valores simulados foram: 1.296 painéis fotovoltaicos distribuídos em 18 strings em série e 72 em paralelo. O inversor utilizado possui tensão nominal de 400kW. Sua faixa de MPPT situa-se entre 550 a 820Vdc, totalmente compatível tanto com a tensão em circuito aberto (Voc) quanto com a de máxima potência (Vmp) do arranjo fotovoltaico que ficou compreendida entre 808,2V e 655,2V.

Figura 15 - Produção de energia mensal e durante 25 anos do sistema fotovoltaico. (a) energia produzida mensalmente. (b) energia produzida anualmente durante 25 anos (Carga total).



Fonte: NREL (2017).

Figura 16 - Produção de energia mensalmente e durante 25 anos do sistema fotovoltaico. (a) energia produzida mensalmente. (b) energia produzida anualmente durante 25 anos (Carga total).



Fonte: NREL (2017).

Analisando-se as Fig. 15 e 16 verifica-se que, como os meses de agosto, setembro e outubro possuem os maiores níveis de radiação solar, conseqüentemente produzem os maiores valores de energia tanto em relação à carga total quanto à carga do estacionamento. Observa-se, também, que durante sua vida útil, o sistema fotovoltaico apresenta uma pequena queda no nível anual de energia produzida ao logo dos 25 anos para ambos os casos. Essa queda de rendimento ao longo do tempo se dá por alguns fatores externos, tais como umidade, temperatura e radiação solar, levando a degradação e diminuição da vida útil do sistema.

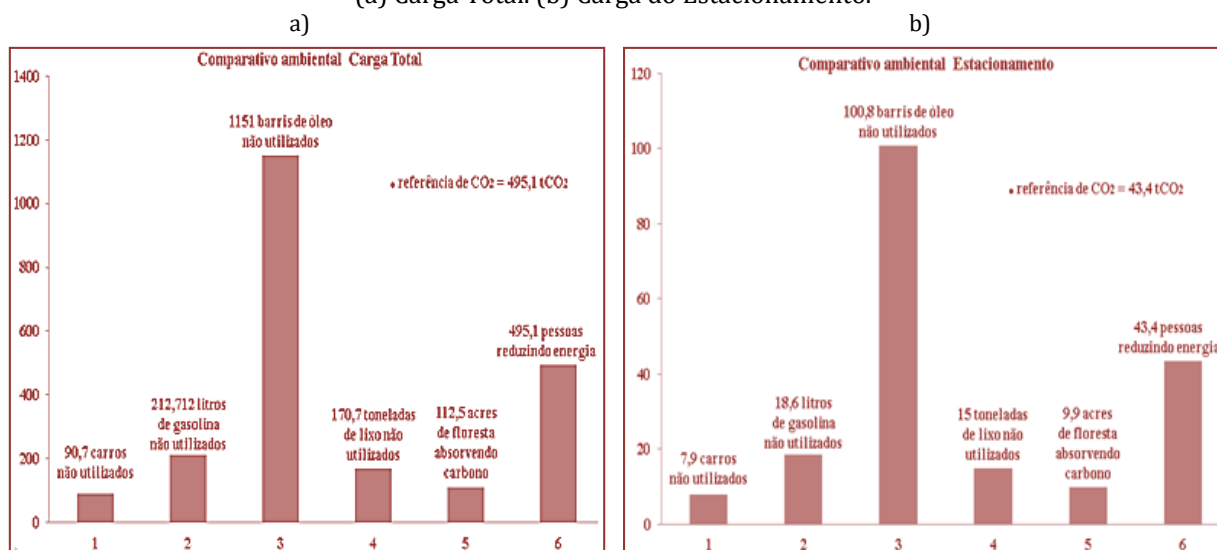
5.2. ANÁLISE ECONÔMICA

Os resultados obtidos para carga total em relação à análise financeira foram totalmente positivos: O *payback* se manteve numa faixa entre 7,9 anos a 8,6 anos, o VPL foi positivo no valor de R\$ 60.906.929,00. Isso torna viável o investimento no projeto. A TIR encontra-se com o valor 12,5%, acima da Taxa Selic. Isso transmite segurança no investimento do projeto. Em relação à carga do estacionamento, obteve-se a mesma viabilidade que foi conseguida com a carga total: *Payback* entre 8 e 8,8 anos, VPL positivo no valor de R\$ 5.310.732,00 e TIR de 12,3%.

5.3. ANÁLISE AMBIENTAL

O CO₂ é um dos principais responsáveis pelo aumento do Efeito Estufa, fenômeno que ocasiona aumento da temperatura e diversas mudanças climáticas observadas no planeta. A Fig. 17 faz o comparativo da redução anual de CO₂ com outras fontes degradadoras do meio ambiente (gasolina, petróleo, lixo e energia elétrica) com consequente aumento da capacidade das florestas de absorver e armazenar carbono, para ambos casos. Para a carga total, Fig. 17a, considerando-se o fator de emissão de GEE de 0,082TCO₂/MWh (MCTIC, 2017), como exportou-se 6,037MWh à rede elétrica, a redução anual de GEE no meio ambiente foi de aproximadamente 495,1 tCO₂ por ano. Em relação à carga do estacionamento, Fig. 16b, a energia exportada foi de 529MW, obtendo-se uma redução de 43,4 tCO₂ por ano.

Figura 17 - Comparativo entre a redução anual de CO₂ com outras fontes degradadoras do meio ambiente. (a) Carga Total. (b) Carga do Estacionamento.



Fonte: Adaptado de RETScreen (2017).

6. CONCLUSÕES

Para comprovar a viabilidade de implantação de um sistema SFCR em SBEG, foi dimensionado dois projetos em conformidade com os procedimentos e condições das normas técnicas vigentes: um foi destinado ao atendimento da carga energética total do aeroporto e o outro contemplou a carga que corresponde a área do Estacionamento de Funcionários de SBEG. A usina fotovoltaica atende toda a demanda energética contratada do aeroporto e a potência gerada pela área do Estacionamento dos Funcionários resulta na redução das cargas de iluminação dos seguintes ambientes do aeroporto: estacionamento dos passageiros, desembarque e terraço.

Neste contexto, a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica no referido Aeroporto mostrou-se técnica, econômica e ambientalmente viável, o que reduziria os impactos ambientais e os valores das faturas de energia elétrica desta Unidade Consumidora.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Infraero (Superintendência do Aeroporto Internacional de Manaus) pela permissão na coleta e fornecimento de dados para consecução deste trabalho e o apoio institucional do Ifam, UFPA e Itagam.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT, 2008. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10899: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação.
- [2] Aneel, 2017. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>.
- [3] Aneel, 2010. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414 de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.
- [4] Aneel, 2012. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.
- [5] Aneel, 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
- [6] Braun, P., Jardim, C. S., Rütther, R., 2007. Análise da Contribuição Energética de Sistemas Fotovoltaicos Integrados em Edificações: Aeroporto Internacional de Florianópolis, Um Estudo de Caso. Enac.
- [7] Cerqueira, G. A. *et al.*, 2015. A Crise Hídrica e suas Consequências. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado - Boletim Legislativo nº 27 de 2015.
- [8] EPE, 2016. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016, Ano Base 2015. Rio de Janeiro.
- [9] ICEA, 2017. Instituto de Controle do Espaço Aéreo. Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas.
- [10] Gonçalves, F.A.V.S., 2013. Avaliação Técnica e Econômica da Implantação de Sistemas Fotovoltaicos no Aeroporto Internacional de Belém, Dissertação de Mestrado, PPGEE, UFPA, Belém.
- [11] Infraero, 2017. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto de Manaus. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/>>
- [12] MCTIC, 2017. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>.
- [13] NREL, 2016. National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model (SAM). Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>
- [14] Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rütther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos, INPE.
- [15] Pereira, F.A.S., Oliveira, M.A.S., 2011. Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica, Publindustria, Edições Técnicas, Porto.
- [16] Pinho, J. T. (Org.), Galdino, M. A. (Org.), 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. 2. ed. rev. e aum., Rio de Janeiro, [s.n.].
- [17] RETScreen Expert, 2016. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>>. Acesso em: 01 jan 2016.
- [18] Sukumaran, S., Sudhakar K., 2017. Fully powered airport: A case study of Cochin International airport. Journal of Transport Management, vol. 62, pp. 176-188.
- [19] SolarPower Europe, 2017. Global Market Outlook for Solar Power 2017-2021.
- [20] Treasy, 2017. Disponível em: <<http://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir>>. Acesso em: 02 fev. 2017.
- [21] Villava, M.G., Gazoli, J.R., 2012. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 1. ed., São Paulo, Érica.

Capítulo 18

Validação de dados de onda de reanálise do Era-Interim para estimativa do potencial energético das ondas

*Rafael Luz Espindola
Alex Maurício Araújo*

Resumo: Este trabalho é um esforço de validação dos dados de reanálise do projeto ERA-Interim necessários para estimativa do potencial energético das ondas. Para tanto, foram realizadas análises estatísticas destes dados, comparando-os com dados obtidos de medição indireta por sensoriamento remoto pelo satélite de altimetria Jason-2/OSTM. Uma vez que os satélites de altimetria não medem o período da onda, foram utilizadas duas metodologias diferentes para estimar esses valores, a fim de serem utilizados na comparação. Como resultado, obteve-se uma correlação aceitável, uma vez que, para sete dos oito pontos analisados, o bias manteve-se abaixo de -0,16, e o coeficiente de Pearson próximo ou superior a 0,7. Os outros parâmetros também indicaram bons resultados, como índice de dispersão sempre inferior a 0,25, RMSE em geral baixo e com a razão dos desvios padrão não se afastando muito do valor 1. Com relação ao período da onda os resultados não foram conclusivos, mas a análise qualitativa indica uma tendência entre as séries de dados.

Palavras-chave: Validação; Altura Significativa da Onda, Período da Onda

Artigo apresentado no VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016.

1. INTRODUÇÃO

Há algumas décadas o mundo busca encontrar soluções energéticas ambientalmente sustentáveis. Para isso, um grande esforço científico em pesquisas sobre energia eólica, solar, de biomassas, de ondas, e de outras fontes renováveis vem sendo feito. Por estar disponível, praticamente, ao redor de todo o mundo, a energia das ondas vem se mostrando bastante promissora. Além disso, o fato de ser uma fonte regular de energia e de ser mais previsível que outras fontes, como a eólica e a solar, contribuem para essa boa expectativa na sua utilização (Cruz, 2008).

Em escala global, diversos mapeamentos dessa fonte vêm sendo realizados desde a década de 1960. Podem ser citados como exemplo os trabalhos de Kinsman (1965), Pond e Pickard (1978), e mais recentemente os de Gunn e Stock-Williams (2012) e Arinaga e Cheung (2012).

Por abrangerem uma dimensão espacial muito grande, os estudos feitos a nível global apenas dão indicativos do potencial de cada região, sendo necessárias análises locais para uma melhor precisão do potencial existente. Na Europa diversos estudos vêm sendo realizados. Podemos citar como exemplos recentes: Vicinanza (2013), Gonçalves *et al.* (2014) e Kasiulis *et al.* (2015). Já o potencial energético dos outros continentes, comparativamente à Europa, foi pouco investigado. São exemplos de estudos na Ásia os trabalhos de Aoun *et al.* (2013), Liang *et al.* (2014). Nas Américas os de Hiles *et al.* (2014), Robertson *et al.* (2014). Na Oceania o de Behrens *et al.* (2012), além de trabalhos que envolvem regiões abrangendo mais de um continente, como os de Aydogan *et al.* (2013) e Zodiatis *et al.* (2014).

De acordo com Cruz e Sarmiento (2004), esse tipo de energia é atrativo para ilhas e países com vasta extensão litorânea. O Brasil se encaixa nesse perfil, uma vez que é um país continental que apresenta uma faixa litorânea de mais de 7.000 km, onde se encontram 73% da sua população. Além disso ele possui uma ZEE (Zona Econômica Exclusiva) de mais de 3,6 milhões de km², aonde apenas áreas pontuais vêm sendo exploradas e, em geral, pela atividade petrolífera (Oliveira Filho, 2011).

Historicamente, o Brasil é um grande utilizador de fontes renováveis de energia como a hidroelétrica, fonte predominante na sua matriz. Porém, apesar de todo o seu litoral e da sua ZEE, poucos estudos visando o aproveitamento energético das ondas têm sido feitos. Pode-se citar, dentre esses poucos esforços o convênio entre a COPPE/RJ, Eletrobrás e Governo do Estado do Ceará, a fim de desenvolver e instalar a primeira usina de Energia das Ondas das Américas (Ricarte *et al.*, 2005).

Gonçalves *et al.* (2008) apresentam como motivos para a falta de estudos sobre aproveitamento da energia das ondas no Brasil a ausência de dados sobre o potencial energético do mar, a dificuldade de atração de investidores e a ausência de mecanismos institucionais, que incluam projetos de investimentos nesse tipo de geração de energia em programas de incentivos ao desenvolvimento de energias alternativas.

Essa falta de dados é resultado dos poucos estudos que têm sido realizados com o objetivo de caracterizar o potencial de que o país dispõe nessa área. Dentre estes poucos estudos podemos citar: o feito por Estefen (2003), que apresenta o potencial da costa entre as latitudes 19° S a 32° S; o feito por Ricarte (2007), onde é caracterizado o potencial da costa cearense; e outros dois trabalhos, o de Carvalho (2010) e o de Souza (2011), onde são feitos levantamentos do potencial de toda a costa brasileira.

Todos estes trabalhos citados, com exceção dos de Estefen (2003), apresentam em comum a utilização de medições diretas das ondas para em seguida estimar o seu potencial. Entretanto, de acordo com Ricarte (2007), o litoral brasileiro, em sua maior parte, ainda encontra-se desconhecido à luz de técnicas modernas de medições e caracterização dos seus oceanos, uma vez que são realizadas poucas medições e estas normalmente estão voltadas para atender as atividades petrolíferas. Essa falta de dados pode produzir resultados muito divergentes como acontece entre os estudos de Carvalho (2010) e Souza (2011), onde ocorre uma diferença de cerca de 80% entre os potenciais estimados.

Assim, o objetivo desse trabalho é validar os dados de reanálise do projeto ERA-Interim produzidos pela ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), em relação à dados obtidos por sensoriamento remoto, mais especificamente pelo satélite de altimetria Jason-2/OSTM, a fim de que esses parâmetros validados possam posteriormente serem utilizados para estimativa do potencial energético das ondas no litoral brasileiro.

2. MISSÃO ALTIMÉTRICA JASON-2/OSTM

O melhor modo de se caracterizar o clima de ondas de um local é a partir de longas séries temporais de medições *in situ*, principalmente por meio de boias. Porém, esse tipo de caracterização é complicado, uma vez que, por razões econômicas, o número de equipamentos de medição utilizados concomitantemente é limitado a poucos locais. Além disso, as boias existentes, em sua maioria, estão instaladas em regiões próximas à costa e no Hemisfério Norte, limitando assim os locais com acesso a dados (Caires e Sterl, 2001). Diante disso, as medições costumam ser utilizadas na calibração de modelos espectrais de onda de terceira geração (WAVEWATCH III, WAM, SWAM, MIKE 21 SW), cujos resultados são gerados a partir de dados de vento largamente disponíveis (Aydogan *et al.*, 2013).

Uma alternativa à medição direta para a caracterização das condições de onda de um local é através da utilização de medições indiretas obtidas por sensoriamento remoto, como por exemplo, por meio de observações feitas por satélites. Uma vantagem que os dados obtidos por satélites têm em relação aos obtidos com boias é a grande abrangência espacial que eles possuem, mesmo que para isso tenham que apresentar uma frequência de captação de dados menor para um mesmo local (Coli e Mata, 1996, e Pimenta *et al.*, 2008). Além disso, estudos como os de Ebuchi e Kawamura (1994), Gower (1996) e Challenor *et al.* (2006) indicam que os dados assimilados por satélite se aproximam bastante dos obtidos diretamente por boias.

O satélite altimétrico Jason-2/OSTM, lançado em 2008, é uma cooperação entre as agências CNES (*Centre National d'Études Spatiales*), EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*), NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Ele possui um altímetro que opera em duas frequências, 13,6 Ghz (Banda Ku) e 5,3 GHz (Banda C), com o objetivo de medir o nível oceânico, a altura da onda e a velocidade do vento. A altitude da órbita do Jason-2 é de 1.336 km, a mesma dos seus antecessores, o que reduz as interações dele com a atmosfera e com a gravidade terrestre a valores mínimos, tornando a determinação da órbita mais fácil e precisa. Além da altitude, sua órbita apresenta como característica uma inclinação de 66° no sentido norte-sul, o que possibilita uma cobertura de 90% das regiões não congeladas dos oceanos. Outra característica importante é o tempo de ciclo, que é de aproximadamente 9,9156 dias. Esse valor permite a obtenção de dados com boa resolução tanto espacial quanto temporal. Maiores informações podem ser obtidas em: <http://www.aviso.altimetry.fr/en/missions/present-missions/jason-2.html>.

Uma grande desvantagem dos satélites de altimetria diz respeito aos dados da onda que ele consegue medir. Devido aos princípios físicos envolvidos, eles não medem nem o período, nem a direção da onda. Entretanto, ao menos no que diz respeito ao período da onda, diversos estudos já foram realizados com o objetivo de empiricamente se determinar e validar esse parâmetro. Dentre os estudos podemos citar Challenor e Srokosz (1984), Davies *et al.* (2001), Hwang *et al.* (1998), Gommenginger *et al.* (2003), Quilfen *et al.* (2004), Govidan *et al.* (2011) e Zhao *et al.* (2012).

2.1. DERIVAÇÃO DO PERÍODO DA ONDA

Apesar dos diversos estudos realizados para derivação do período da onda a partir de dados medidos pelo satélite de altimetria, de acordo com Carter (1992) e Davies *et al.* (2001), essa área de estudo ainda se encontra em estágios iniciais. Durante as análises de validação foram utilizados os métodos propostos por Hwang *et al.* (1998) e Quilfen *et al.* (2004).

A metodologia proposta por Hwang *et al.* (1998) é uma relação empírica entre a altura de pico do campo de onda, T , a velocidade do vento, U , e a altura da onda, H , que se sintetiza na Eq. (1).

$$\frac{U}{gT} = 0,048 \left(\frac{U^2}{gH} \right)^{0,67} \quad (1)$$

onde g é a gravidade local. De acordo com Hwang *et al.* (1998), para o satélite de altimetria Topex/Poseidon (T/P), o período calculado utilizando a metodologia apresentou valores 6% menores que o período de pico medido pela boia utilizada na validação.

Já a metodologia desenvolvida por Quilfen et al. (2004) utiliza uma abordagem diferente baseada em redes-neurais (Eq.2), utilizando a altura significativa da onda, H_s e o coeficiente de *backscatter* da banda Ku, σ_{Ku} .

$$T_z = \exp(-17,1642A + 13,5844) \quad (2)$$

onde A é definido pela Eq. (3).

$$A = \frac{1}{1 + \exp(0,6573H_s^{0,1084} \sigma_{Ku}^{0,2962} - 2,2377)} \quad (3)$$

Há ainda uma metodologia complementar proposta por Quilfen *et al.* (2004) que utiliza os coeficiente de *backscatter* de ambas as bandas de frequência do satélite, porém decidiu-se não utilizá-la na análise.

2.2. ERA-INTERIM

ERA-Interim é a mais recente reanálise atmosférica global produzida pelo ECMWF. Seu período de cobertura se inicia em 1979 e continua até o presente momento. Os produtos dessa reanálise são dados gradeados que incluem uma larga variedade de parâmetros de superfície com resolução de 3h, que descrevem tanto o clima como ondas oceânicas e condições da superfície terrestre. Incluem também parâmetros aéreos com resolução de 6h, que cobrem a troposfera e a atmosfera (Dee et al., 2011).

O modelo de ondas utilizado para produzir alguns dos dados da reanálise do ERA-Interim é baseado no modelo espectral de onda de 3ª geração WAM, e inclui uma série de melhorias tanto nos aspectos físicos, quanto numéricos, em relação ao projeto anterior, o ERA-40. Dentre as melhorias apresentadas, as mais significativas para aplicações climáticas são a introdução de um solução para tratar efeitos batimétricos não resolvidos e a reformulação do termo de fonte de dissipação (Dee et al., 2011). O modelo apresenta uma resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$, o que equivale uma distância horizontal máxima de 110 km.

2.3. METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO

A potência da onda para águas ditas profundas, ou seja, onde o fundo oceânico não provoca interferência, pode ser calculada, como mostra a Eq. (4), em função da altura significativa da onda (H_s) e do período de energia (T_e).

$$P = 0,49T_e H_s^2 \quad (4)$$

Os dados de H_s e T_e podem ser obtidos a partir de reanálise com uma excelente resolução temporal e espacial. Para a validação desses dados, deve-se compará-los estatisticamente em relação a um dado medido. Optou-se pelos dados de satélite pela sua grande cobertura espacial, e aceitável resolução temporal, além da disponibilidade de informações no litoral brasileiro. Dessa forma, a primeira etapa da metodologia é a captação dos dados para a área de estudo selecionada.

Como as medições realizadas seguem a trajetória do satélite e os dados de reanálise obedecem uma grade retangular, é preciso que seja feito um ajuste dos dados, a fim de se obter resoluções idênticas. De acordo com Monaldo (1988), um par altímetro-boia, aqui estendido para altímetro-modelo, deve obedecer a um critério de distância horizontal menor que 50 km. Dessa forma, o ajuste é feito calculando-se a média dos dados de satélite localizados dentro de um quadrado imaginário ($1^\circ \times 1^\circ$) centrado no nó da grade retangular que cobre a área de seleção. A resolução dessa grade corresponde a dos dados de reanálise.

Além disso, a mesma resolução temporal dos dados de reanálise deve ser adotado para os dados do satélite. Algumas regiões da área de estudo, devido ao percurso do satélite, não possuem dados. Para esses pontos, os dados de reanálise também foram desconsiderados nas análises seguintes.

Uma vez que as bases de dados estão no mesmo formato, são realizadas as análises estatísticas mensal e anual para cada um dos nós.

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir dos dados selecionados e ajustados, são obtidos diversos parâmetros estatísticos a fim de se conhecer o comportamento da massa de dados. Esses parâmetros estatísticos são: bias (ou viés); raiz quadrada do erro médio (RMSE); razão entre os desvios padrões; coeficiente de correlação de Pearson (ρ); e índice de dispersão (SI).

O bias (Eq. 5) é um parâmetro que quantifica a diferença média entre dois conjuntos de dados. Apesar de fornecer uma ideia da tendência ou do erro sistemático, como os valores negativos se anulam com os valores positivos na somatória, ele geralmente leva a uma subestimação do erro.

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (5)$$

onde x_i e y_i são os dados de reanálise e de satélite, respectivamente, e n é o total de dados de cada variável.

Outro parâmetro estatístico calculado é o RMSE (Eq. 6), que relaciona a diferença entre duas variáveis, porém, sem o problema descrito anteriormente para o bias. Para esse parâmetro, quanto mais próximo de 0, mais similares serão as médias dos dois conjuntos de dados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

O desvio padrão de cada conjunto fornece a informação da dispersão dos dados em relação à média. Assim, a razão entre os desvios padrão (Eq. 7) é uma medida da diferença entre o comportamento de dispersão das duas amostras. Os valores de razão serão positivos, com valores próximo a 1 indicando comportamento semelhante.

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

onde \bar{x} e \bar{y} são, respectivamente, as médias dos dados de reanálise e de satélite, e σ_x e σ_y são, respectivamente, os desvios padrão dos dados de reanálise e de satélite.

O coeficiente de correlação de Pearson (Eq. 8) mede o grau da correlação entre duas variáveis de escala métrica, assumindo valores entre -1 e 1, onde um valor igual a 1 significa correlação perfeita e positiva entre as duas variáveis. De forma semelhante, um valor igual a -1 significa correlação perfeita, porém negativa, ou seja, enquanto uma variável aumenta a outra diminui. Por sua vez, um valor igual a 0 significa nenhuma dependência linear entre as duas variáveis.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Por fim, o índice de dispersão (Eq. 9) é uma medida normalizada do erro que leva em consideração as observações do satélite. Ele é uma medida padrão para comparação entre modelos de onda. Assim, valores pequenos de SI indicam um modelo robusto, que emula que boa precisão a realidade.

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2}}{\bar{y}} \quad (9)$$

3. RESULTADOS

A fim de validar os dados de reanálise do ERA-Interim no litoral brasileiro, uma região retangular entre as latitudes 8°N e 37°S e as longitudes 28°O e 59°O foi selecionada, conforme mostra a Fig. 1. Para essa área, foram obtidos juntamente às agências ECMWF (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>) e AVISO+ (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/windwave-products.html>), respectivamente, os dados de reanálise e os dados do satélite de altimetria Jason-2/OSTM, entre o período de 01/07/2008 a 31/11/2014.

Os dados tiveram que passar por um pré-processamento a fim de igualar as resoluções temporais e espaciais. Nesse processo, todos os que estavam sinalizados como de qualidade duvidosa foram retirados, e em seguida separados e ajustado de acordo com a metodologia, resultando na grade de dados mostrada na Fig. 1b. O problema de região sem dados, destacado na Fig. 1b, pode ser resolvido com a utilização conjunta de mais de um satélite para formar a base de dados, desde que eles tenham inclinações e/ou repetitividades diferentes. Após a separação e ajuste dos dados, foram identificados ao longo de toda a área de estudo 632 nós que possuíam informações, com uma média de 255 dados por nó ao longo do período de quase 5 anos avaliado.

Nota-se a partir das Tab. 1 e Tab. 2 a existência de uma correlação aceitável entre as duas bases de dados, principalmente com relação à altura significativa, uma vez que, com exceção do ponto 6, o bias manteve-se abaixo de -0,16, e o coeficiente de Pearson, R, foi próximo ou superior a 0,7. Os outros parâmetros também indicam resultados aceitáveis, como índice de dispersão sempre inferior a 0,25, RMSE em geral baixo e com a razão dos desvios padrão não se afastando muito do valor 1. Além disso, o bias negativo indica que na média, os valores de altura significativa nos dados de reanálise foram inferiores aos do satélite. Dessa forma, a potência da onda que depende deste parâmetro apresentaria uma tendência a ser subestimada, o que é preferível a uma superestimação.

Figura 1 - Região de estudo selecionada com (a) os dados obtidos pelo Jason-2/OSTM, e (b) após o pré-processamento destes dados, com destaque para algumas regiões sem dados, e a localização dos pontos analisados.

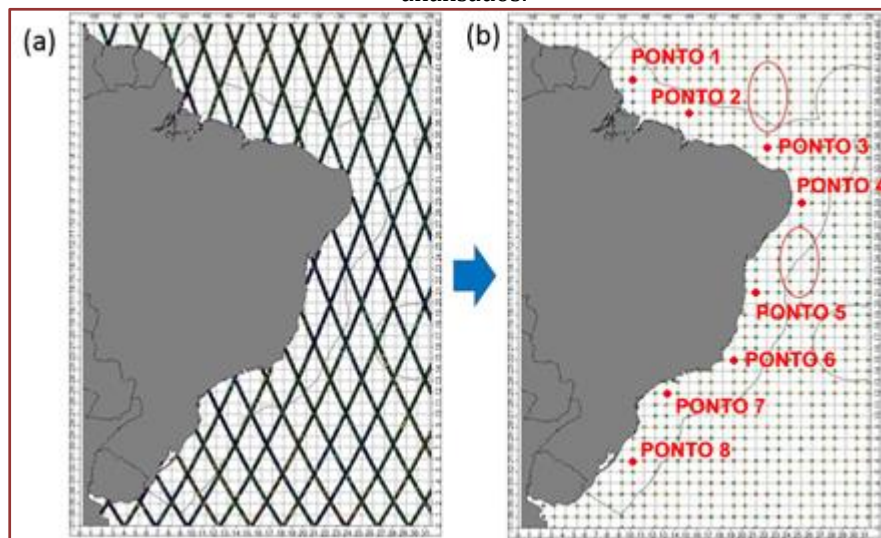


Tabela 1 - Características de onda de pontos selecionados ao longo da costa brasileira.

| Parâmetros Calculados | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 | Ponto 7 | Ponto 8 |
|---------------------------------|---------------|-------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 3° N 49° O | 0° 44° O | 3° S 37° W | 8° S 34° O | 16° S 38° O | 22° S 40° O | 25° S 46° O | 31° S 49° O |
| Alt. Sig. Méd. ERA-Interim (m) | 1,55 | 1,68 | 1,80 | 1,81 | 1,43 | 1,84 | 1,71 | 2,14 |
| Alt. Sig. Méd. Jason-2 - Ku (m) | 1,62 | 1,75 | 1,83 | 1,84 | 1,59 | 1,38 | 1,86 | 2,29 |
| Alt. Sig. Méd. Jason-2 - C (m) | 1,57 | 1,76 | 1,83 | 1,84 | 1,59 | 1,52 | 1,89 | 2,29 |
| Período Médio ERA-Interim (s) | 7,68 | 7,65 | 7,61 | 8,14 | 7,20 | 8,16 | 8,48 | 8,15 |
| Período Médio Hwang - Ku (s) | 7,49 | 7,61 | 7,51 | 7,72 | 7,11 | 6,29 | 8,38 | 8,33 |
| Período Médio Hwang - C (s) | 7,71 | 7,62 | 7,53 | 7,70 | 7,08 | 6,82 | 8,51 | 8,33 |
| Período Médio Quilfen - Ku (s) | 7,70 | 7,87 | 7,82 | 7,98 | 7,40 | 6,64 | 8,52 | 8,53 |
| Nº de dados | 199 | 199 | 394 | 253 | 98 | 193 | 202 | 203 |

A análise estatística sintetizada na Tab. 2 pode ser considerada representativa de toda a área quando analisamos as Fig. 2-4. Nela percebe-se que a mesma tendência descrita é observada quando analisamos todos os 632 pontos durante todo o intervalo de tempo. E percebe-se uma correlação qualitativa entre as distribuições de frequência das médias, sejam elas das altura significativas da onda ou as do período da onda que corrobora com os valores estatísticos encontrados.

Tabela 2 – Síntese da análise estatística anual para oito pontos selecionados ao longo da costa brasileira.

| Parâmetros Estatísticos | Ponto 1 | | | Ponto 2 | | | Ponto 3 | | | Ponto 4 | | |
|-----------------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} |
| Bias | -0,07 | 0,20 | -0,02 | -0,07 | 0,04 | -0,22 | -0,03 | 0,09 | -0,21 | -0,03 | 0,43 | 0,16 |
| RMSE | 0,30 | 0,87 | 1,02 | 0,21 | 0,89 | 0,85 | 0,23 | 1,05 | 1,04 | 0,27 | 1,24 | 1,15 |
| $\sigma_{rea}/\sigma_{sat}$ | 1,22 | 1,38 | 1,14 | 1,03 | 0,97 | 0,86 | 1,01 | 0,80 | 0,72 | 1,05 | 1,04 | 0,96 |
| R | 0,69 | 0,49 | 0,54 | 0,82 | 0,66 | 0,68 | 0,77 | 0,51 | 0,51 | 0,69 | 0,25 | 0,24 |
| SI | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,13 | 0,15 | 0,15 | 0,14 |
| Parâmetros Estatísticos | Ponto 5 | | | Ponto 6 | | | Ponto 7 | | | Ponto 8 | | |
| | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} | H _s | T _{e, hwa} | T _{e, qui} |
| Bias | -0,16 | 0,09 | -0,20 | 0,46 | 1,86 | 1,51 | -0,15 | 0,10 | -0,04 | -0,15 | -0,18 | -0,38 |
| RMSE | 0,31 | 0,68 | 0,70 | 0,59 | 2,22 | 1,95 | 0,34 | 1,94 | 1,53 | 0,54 | 1,32 | 1,26 |
| $\sigma_{rea}/\sigma_{sat}$ | 1,09 | 1,14 | 1,07 | 0,66 | 0,72 | 0,68 | 1,13 | 1,72 | 1,36 | 1,17 | 1,16 | 1,05 |
| R | 0,68 | 0,61 | 0,59 | 0,65 | 0,53 | 0,50 | 0,86 | 0,40 | 0,46 | 0,78 | 0,62 | 0,63 |
| SI | 0,17 | 0,09 | 0,09 | 0,26 | 0,19 | 0,19 | 0,16 | 0,23 | 0,18 | 0,23 | 0,16 | 0,14 |

Figura 2 - Frequência de ocorrência dos valores de (a) média e dos parâmetros estatísticos (b) bias, (c) RMSE, (d) razão entre desvios-padrão, (e) coeficiente de correlação de Pearson e (f) índice de dispersão na análise entre as alturas significativas do ERA-Interim e do Jason-2/OSTM para os 632 pontos da região de estudo entre julho de 2008 e novembro de 2014.

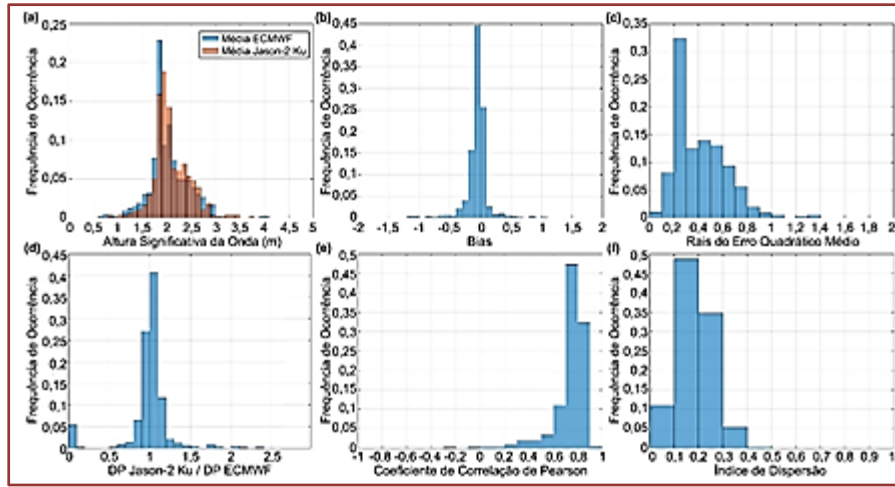


Figura 3 - Frequência de ocorrência dos valores de (a) média e dos parâmetros estatísticos (b) bias, (c) RMSE, (d) razão entre desvios-padrão, (e) coeficiente de correlação de Pearson e (f) índice de dispersão na análise entre os períodos do ERA-Interim e do calculado pelo método de Hwang et al. para os 632 pontos da região de estudo entre julho de 2008 e novembro de 2014.

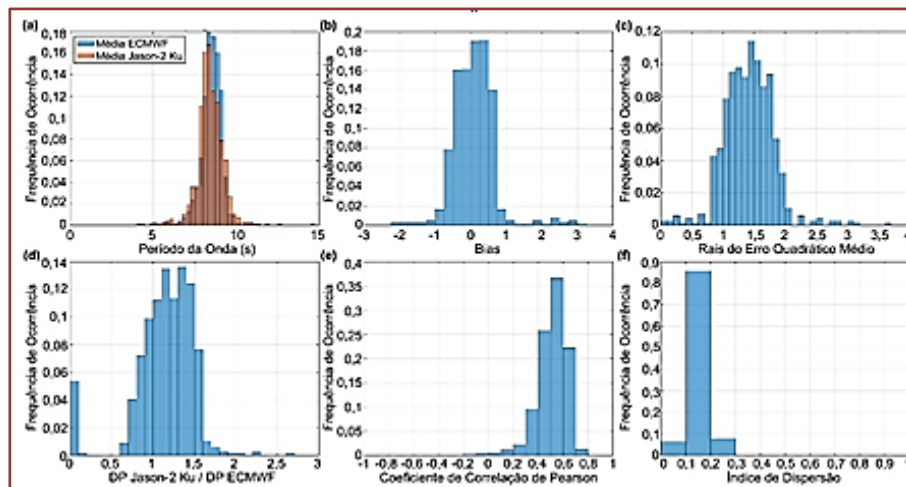
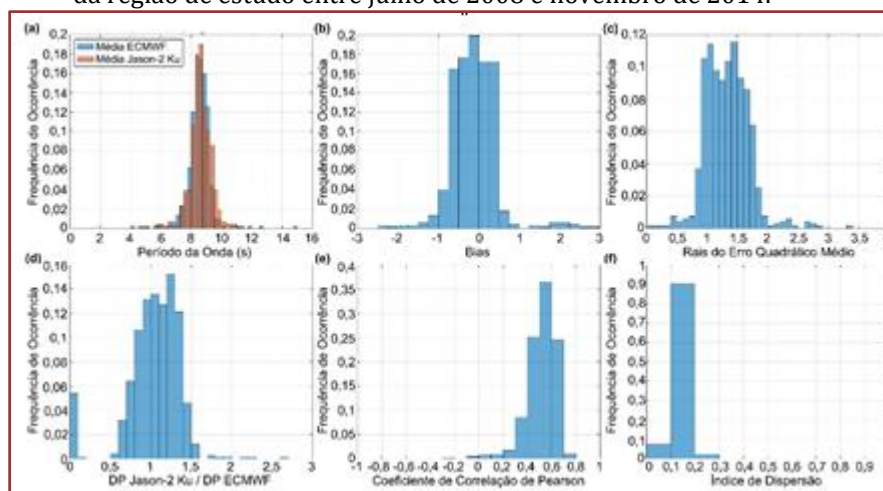


Figura 4 - Frequência de ocorrência dos valores de (a) média e dos parâmetros estatísticos (b) bias, (c) RMSE, (d) razão entre desvios-padrão, (e) coeficiente de correlação de Pearson e (f) índice de dispersão na análise entre os períodos do ERA-Interim e do calculado pelo método de Quilfen et al. para os 632 pontos da região de estudo entre julho de 2008 e novembro de 2014.



4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados da análise estatística pode-se concluir que os dados de altura significativa de reanálise do projeto ERA-Interim apresentam uma boa correlação em relação ao obtidos por medição indireta por meio do satélite de altimetria Jason-2/OSTM. Conclui-se também que estatisticamente não se pode afirmar nada com relação ao período da onda. Porém, existe uma similaridade qualitativa entre a tendência das duas séries de dados. Além disso, ambos os métodos utilizados para a estimativa do período da onda apresentaram resultados bastante semelhantes, indicando a possibilidade da utilização de ambos.

A utilização de mais de um satélite resolveria em parte, ou completamente, os lapsos de dados que a utilização de apenas um satélite gera. Isso permitiria uma cobertura espacial maior e conseqüentemente uma análise mais completa da região. Entretanto, a deficiência em fornecer dados de direção e período, ou de permitir estimativas precisas destes, são um empecilho na sua utilização para fins de cálculo direto da potência da onda. Esse fato, torna os dados de reanálise ideais para estimativas iniciais da potência de onda disponível no litoral brasileiro.

Percebe-se ainda, a partir dos resultados, que a costa brasileira apresenta valores baixos de altura de onda e período, principalmente em comparação ao mar europeu. Entretanto, nota-se que não há um espalhamento da distribuição de frequência. Esse fato pode ser vantajoso no que diz respeito ao aproveitamento da energia, por permitir o desenvolvimento de equipamentos menos robustos, já que não terão que enfrentar mares tão agitados.

Pretende-se, a partir dos resultados apresentados, realizar uma análise do clima de ondas da costa brasileira e estimar a potência das ondas. Em seguida, pretende-se identificar os locais mais adequados para aproveitamento da energia e baseado nas suas características locais, qual o tipo de conversor mais adequado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os apoios financeiros concedidos pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

REFERÊNCIAS

- [1] Aoun, N. S., Harajli, H. A., Queffeuol, P., 2013. Preliminary appraisal of wave power prospects in Lebanon, *Renewable Energy*, vol. 53, pp. 165-173.
- [2] Arinaga, R. A., Cheung, K. F., 2012. Atlas of global wave energy from 10 years of reanalysis and hindcast data, *Renewable Energy*, vol. 39, pp. 49-64.
- [3] Aydogan, B., Ayat, B., Yüksel, Y., 2013. Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data, *Renewable Energy*, vol. 57, pp. 436-447.
- [4] Behrens, S., Hayward, J., Hemer, M., Osman, P., 2012. Assessing the wave energy converter potential for Australian coastal regions, *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 201-217.
- [5] Caires, S., Sterl, A., 2001. Comparative assessment of ERA-40 ocean wave product, *Proceedings of the ECMWF Workshop on Re-analysis, ERA-40 Proj. Rep. Ser., Eur. Cent. for Medium- Range Weather Forecasts, Reading, UK*, vol. 3, pp. 357- 372.
- [6] Carvalho, J. T., 2010. Distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral do Brasil. Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos.
- [7] Challenor P. G., Srokosz M. A., 1984. Extraction of wave period from altimeter data, *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*, pp. 121-124.
- [8] Challenor, P. G. et al., 2006. Satellite altimetry: A revolution in understanding the wave climate, *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*, nº 614.
- [9] Coli, A. B., Mata, M. M., 1996. Caracterização das alturas de onda no Atlântico Sul Ocidental através da altimetria TOPEX/POSEIDON, *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Salvador, Bahia*, pp. 755-760.
- [10] Cruz, J. M., 2008 *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives*, Berlin: Springer.
- [11] Cruz, J. M., Sarmiento, A. J., 2004. Energia das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais, Instituto do Ambiente Alfragide, Portugal.
- [12] Davies, C. G., Peter, G. C., Cotton, P. D., 2001. Measurements of wave period from radar altimeters, *Proceeding of the International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, San Francisco*, pp. 819-826.
- [13] Dee, et al., 2011. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 137, n. 656, Part A, pp. 553-597.
- [14] Ebuchi, N., Kawamura, H., 1994. Validation of wind speeds and significant wave heights observed by the TOPEX altimeter around Japan, *Journal of Oceanography*, vol. 50, pp. 479-487.
- [15] Estefen S. F. et al., 2003. Energia das ondas, in: Tolmasquim, M. T. (Org.) *Fontes renováveis de energia no Brasil*, Interciência, Rio de Janeiro.
- [16] Gommengiger, C. P., Srokosz, M.A., Challenor, P.G., Cotton, P. D., 2003. An empirical model to retrieving ocean wave period from Nadir altimeter data. *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS 2003, Toulouse, France*, pp. 2706-2708.
- [17] Gonçalves, M., Martinho, P., Guedes Soares, C., 2014. Wave energy conditions in the western French coast, *Renewable Energy*, vol. 62, pp. 155-163.
- [18] Gonçalves, W. M., Feijó, F. T., Abdallah, P. R., 2008. Energia de ondas: aspectos tecnológicos e econômicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil, III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – SEMENG’08, Rio Grande.
- [19] Govindan, R., Kumar, R., Basu, S., Sarkar, A., 2011. Altimeter-Derived Ocean Wave Period Using Genetic Algorithm, *Geoscience and Remote Sensing*, vol. 8, n. 2, pp. 354-358.
- [20] Gower, J. F. R., 1996. Intercomparison of wave and wind data from TOPEX/POSEIDON, *J. Geophys. Res.*, vol. 101, pp. 3817-3829.
- [21] Gunn, K.; Stock-Williams, C., 2012. Quantifying the global wave power resource, *Renewable Energy*, vol. 44, pp. 296-304.
- [22] Hiles, C. E., Buckham, B. J., Wild, P., Robertson, B., 2014. Wave energy resources near Hot Springs Cove, Canada, *Renewable Energy*, vol. 71, pp. 598-608.

- [23] Hwang, P. A., Teague, W. J., Jacob, G. A., Wang, D. W., 1998. A statistical comparison of wind speed, wave height, and wave period derived from satellite altimeters and ocean buoys in the Gulf of Mexico region, *Journal of Geophysical Research*, vol. 103, n. C5, pp. 10451-10468.
- [24] Kasiulis, E., Punys, P., Kofoed, J. P., 2015. Assessment of theoretical near-shore wave power potential along the Lithuanian coast of the Baltic Sea, *Renewable Energy*, vol. 41, pp. 134-142.
- [25] Kinsman, B., 1965. *Wind Waves: Their Generation and Propagation on the Ocean Surface*, 1^a. Ed, Englewoods Cliffs: Prentice Hall.
- [26] Liang, B., Fan, F., Liu, F., Gao, S., Zuo, H., 2014. 22-Year wave energy hindcast for the China East Adjacent Seas, *Renewable Energy*, vol. 71, pp. 200-207.
- [27] Monaldo, F., 1988. Expected differences between buoy and radar altimeter estimates of wind speed and significant wave height and their implications on buoy-altimeter comparisons, *Journal of Geophysical Research*, vol. 93, n. C3, pp. 2285-2302.
- [28] Oliveira Filho, O. D. Q., 2011. Uma metodologia simplificada para estimativa do aproveitamento eólico offshore no litoral brasileiro – Estudo de caso: A ilha de Itamaracá/PE, *Dissertação de Mestrado*, PPGEM, UFPE, Recife.
- [29] Pimenta, F. et al., 2008. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil, *Renewable Energy*, vol. 33, n. 11, pp. 2375-2387.
- [30] Pond, S., Pickard, G., 1978. *Introductory Dynamical Oceanography*, 1^a. Ed, Oxford: Pergamon Press Ltd.
- [31] Quilfen, Y., Chapron, B., Collard, F., Serre, M., 2004. Calibration/Validation of na altimeter wave period model and application to TOPEX/Poseidon and Jason-1 Altimeters, *Marine Geodesy*, vol. 27, n. 3-4, pp. 535-549.
- [32] Ricarte, E., 2007. *Avaliação de sítios para o aproveitamento dos recursos energéticos das ondas do mar*, Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro.
- [33] Ricarte, E. et al., 2005. *Princípios para Implantação da Usina Piloto de Energia das Ondas e suas Aplicações*, VIII Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, Rio de Janeiro.
- [34] Robertson, B. R. D., Hiles, C. E., Buckham, B. J., 2014. Characterizing the near shore wave energy resource on the west coast of Vancouver Island, Canada, *Renewable Energy*, vol. 71, pp. 665-678.
- [35] Souza, R. D. A., 2011. *Escolha de Tecnologia de Conversão da Energia das Ondas em Energia Elétrica*. *Dissertação de Mestrado*, PPGEU, UFRG, Rio Grande.
- [36] Vicinanza, D., Contestabile, P., Ferrante, V., 2013. Wave energy potential in the north-west of Sardinia (Italy), *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 506-521.
- [37] Zhao, D., Li, S., Song, C., 2012. The comparison of altimeter retrieval algorithms of the wind speed and the wave period. *Acta Oceanologica Sinica*, vol. 31, n. 3 pp. 1-9.
- [38] Zodiatis, G. et al., 2014. Wave energy potential in the Eastern Mediterranean Levantine Basin. An integrated 10-year study, *Renewable Energy*, vol. 69, pp. 311-323.

Capítulo 19

Análise do desempenho térmico e elétrico de um módulo fotovoltaico acoplado a um coletor solar plano

Othon Lucas Procópio

André Guimarães Ferreira

Ivan Magela Corgozinho

Lucas Paglioni Pataro Faria

Elizabeth Marques Duarte Pereira

Rafael Máximo Martins

Rodrigo Andrade da Silveira

Luís Guilherme Monteiro Oliveira

Santhiagu Lucas Procópio

Alessandra Chagas Daniel

Resumo: Aproximadamente 15% da radiação solar incidente em módulos fotovoltaicos (FV) poli-cristalinos são convertidos em energia elétrica, o restante ou é refletida ou é transformada em calor e como consequência, os painéis são aquecidos, ocasionando redução em sua eficiência elétrica, que é proporcional ao aumento de temperatura, e possível degradação física de suas células fotovoltaicas ao longo dos anos. Portanto, a elevação da temperatura de operação das células é um efeito indesejado, porém, inevitável, que pode ser reduzido com a integração dos módulos FV à uma placa absorvedora como às utilizadas em coletores solares planos que irão permitir a cogeração de calor e eletricidade, preservando a integridade física das células fotovoltaicas a partir da mesma área coletora. Dessa forma, esse trabalho propõe um modelo matemático para prever o comportamento/ desempenho térmico e elétrico de um módulo fotovoltaico acoplado a um coletor solar plano (Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector – PV/T, em inglês) em regime permanente a partir da variação da radiação solar incidente e da velocidade do vento.

Palavras-chave: Cogeração, Energia Solar, PV/T.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar pode ser utilizada de diversas formas sendo que duas aplicações são largamente empregadas, a de sistemas térmicos para conversão em calor e sistemas fotovoltaicos para conversão em eletricidade sendo que o uso dessas duas aplicações em conjunto, hibridação, vem sendo desenvolvido ao longo dos anos. As primeiras pesquisas sobre o uso conjunto da tecnologia de coletores solares planos e módulos fotovoltaicos, comumente designados por Photovoltaic Thermal Hibrid Solar Collector – PV/T, em inglês, foram reportadas em meados da década de 70 e início dos anos 80, em sua grande maioria nos EUA e no Japão (influenciadas pelo embargo do petróleo de 1973 a 1974 (PALLA et al, 2014), na qual se utilizou o modelo de Hottel-Whiller, para avaliar o desempenho do aquecimento da água advindo da integração de sistemas térmicos e fotovoltaicos (DAGHIGH et al, 2010).

O crescimento e o desenvolvimento dos estudos de tecnologias de PV/T continuaram na década de 90, devido à crescente preocupação com as questões ambientais e também, ao interesse do ramo da construção, baseados na possibilidade de integrar os painéis fotovoltaicos e térmicos nas fachadas de edificações, já que a tecnologia PV/T apresenta uma estética melhor do que o uso de coletores planos e painéis fotovoltaicos dispostos separadamente lado a lado nas fachadas. Dessa forma, o acoplamento das duas tecnologias, além do benefício estético mencionado, permite uma economia de área, importante principalmente para locais com pouco espaço, onde haveria a necessidade de escolha entre uma tecnologia e outra. Além disso, a hibridação permite o benefício da redução da temperatura e conseqüente elevação da eficiência elétrica e preservação da integridade física das células fotovoltaicas (KOECH et al, 2012).

Diversas aplicações e projetos de demonstração integrados às edificações ocorreram na Europa e América do Norte, nos quais o uso de PV/T's com água como fluido de refrigeração teve melhor desempenho (CHOW, 2011). PALLA et al. (2014), desenvolveu modelo matemático para avaliar a eficiência elétrica e térmica do acoplamento de módulos fotovoltaicos e coletores solares planos e encontrou eficiências térmicas da ordem 50% e 40% e elétricas entre 9% e 12,1% para PV/T, com e sem coberturas de vidro respectivamente. A tecnologia de PV/T, como foi dito, trabalha normalmente com água ou ar como fluido refrigerante das células fotovoltaicas, na qual, sistemas operando com água possuem maior eficiência térmica e elétrica devido a maior capacidade da água em remover calor das células fotovoltaicas. Entretanto, sistemas que utilizam o ar são mais simples e apresentam custos mais baixos em sua construção e podem ter sua eficiência global melhorada com o uso de exaustores para aumentar a vazão de ar, apesar de terem eficiência reduzida, pois, consomem parte da energia elétrica gerada pelos módulos para alimentar o ventilador (CHOW, 2011). Os PV/T's resfriados a ar, anexados as fachadas inclinadas, são capazes de manter a produção de energia elétrica constante, cobrindo a necessidade de aquecimento do ambiente durante o inverno e ventilação durante o verão, evitando o superaquecimento das edificações por interceptar a radiação solar e transferir o calor gerado para o ar (TRIPANAGNOSTOPOULOS, 2007). Dessa forma, os PVT's com água ou ar como fluido refrigerante, podem ser aplicados aos diversos processos, tais como: refrigeração solar, dessalinização da água, estufas solares, integrado às edificações para refrigeração e aquecimento, o que demonstra a versatilidade dessa tecnologia (TYAGI, 2012).

Neste artigo, é proposto um modelo matemático para prever o comportamento/desempenho térmico e elétrico de um módulo fotovoltaico acoplado a um coletor solar plano (Photovoltaic Thermal Hibrid Solar Collector – PV/T, em inglês) em regime permanente a partir da variação da radiação solar incidente e da velocidade do vento de forma a fornecer subsídios teóricos fundamentais para a elaboração de protótipos de PV/T's conforme mostra a Fig. 1.

Figura 1 – Exemplo de protótipo de PV/T, antes e após a junção, construído e em fase de testes.



2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PVT

O modelo matemático proposto neste trabalho para a avaliação do desempenho térmico e elétrico de um PV/T é baseado no modelo de coletor solar plano tipo tubo aleta, descrito por DUFFIE & BECKMANN (2006), com as devidas modificações para a inclusão do módulo fotovoltaico, e também embasado no trabalho de FERREIRA et al. (2014), onde as equações para modelo matemático proposto são explicitadas e que foram adaptadas ao modelo para realização de simulações computacionais através do software Engineering Equation Solver (EES) disponibilizado pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Na Fig. 2, é apresentado o circuito térmico equivalente para o modelo matemático desenvolvido e na Fig. 3 uma vista explodida de um PV/T.

Figura 2 – Circuito térmico do PV/T: (a) Em termos das resistências de condução, convecção e radiação; (b) Em termos das resistências entre pontos de interesse.

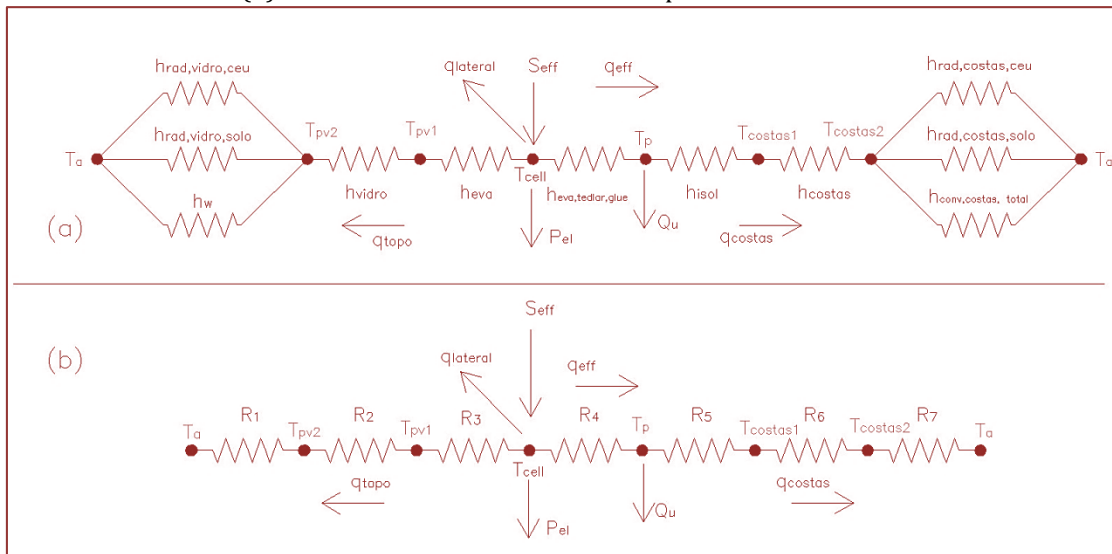


Figura 3 – Vista explodida de um PV/T, alteração FERREIRA et al (2014)



2.1 BALANÇO DE ENERGIA PELO TOPO DO PV/T

Após a concepção do circuito térmico e elétrico o mesmo foi modelado matematicamente de forma a se obter as principais equações para o modelo proposto e assim, o balanço de energia para o topo e também parte posterior do PV/T, portanto, o circuito apresentado na Fig. 2 pode ser representado pelas Eq. (1) à Eq. (12), topo, e Eq. (13) à Eq. (29), para a parte posterior.

$$(h_{rad,vidro,ceu} + h_{rad,vidro,solo} + h_w)(T_{pv2} - T_a) = h_{vidro}(T_{pv1} - T_{pv2}) \quad (1)$$

$$h_{vidro}(T_{pv1} - T_{pv2}) = h_{eva}(T_{cell} - T_{pv1}) \quad (2)$$

$$S = h_{eva}(T_{pv1} - T_{cell}) + P_{el} + h_{eva+tedlar+cola}(T_{cell} - T_p) \quad (3)$$

$$h_{rad,vidro,ceu} = F_{topo,solo} \sigma E_{sup}(T_{pv2}^2 - T_a^2)(T_{pv2} - T_a) \quad (4)$$

$$h_{rad,vidro,ceu} = F_{topo,ceu} \sigma E_c(T_{pv2}^2 - T_a^2)(T_{pv2} - T_a) \quad (5)$$

$$h_{vidro} = \frac{k_{vidro}}{\delta_{vidro}} \quad (6)$$

$$h_{eva} = \frac{k_{eva}}{\delta_{eva}} \quad (7)$$

$$h_{eva,tedlar,cola} = \frac{k_{eva,tedlar,cola}}{\delta_{eva,tedlar,cola}} \quad (8)$$

$$S = I_T \tau \alpha \quad (9)$$

$$S_{eff} = I_T \tau \alpha_{eff} \quad (10)$$

$$\tau \alpha_{eff} = \tau \alpha - \tau_{pv} \eta_{el} \quad (11)$$

$$P_{el} = P_o \left\{ \frac{I_T}{I_{ref}} [1 - \gamma_T(T_{cell} - T_{ref})] \right\} \quad (12)$$

Onde:

E_c : Emissividade da cobertura de vidro (-);

E_s : Emissividade do solo próximo ao PV/T (-);

$F_{topo,ceu}$: Fator que expressa o quanto do céu é visto pelo topo do coletor (-);

$F_{topo,solo}$: Fator que expressa o quanto do solo é visto pelo topo do coletor (-);

$h_{rad,vidro,ceu}$: Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vidro e o céu ($W/m^2 K$);

$h_{rad,vidro,solo}$: Coeficiente de transferência de calor por radiação entre o vidro e o solo ($W/m^2 K$);

$h_{conv,topo}$: Coeficiente de transferência de calor por convecção entre o vidro e a camada de ar próxima [$W/m^2 K$];

I_T : Irradiância que incidente que chega até a camada de vidro do PV/T (W/m^2);

I_{ref} : Irradiância utilizada no teste do módulo fotovoltaico nas condições padrão de teste (Standard Test Conditions – STC, em inglês) - (W/m^2);

k_{eva} : Condutividade térmica do EVA ($W/m K$);

$k_{eva,tedlar,cola}$: Condutividade obtida da média da condutividade da camada de EVA, Tedlar abaixo das células FV e da cola utilizada para unir o módulo FV e as aletas do coletor solar térmico (W/m K);

k_{vidro} : Condutividade térmica da camada de vidro acima da célula fotovoltaica (W/m K);

P_{el} : Potencia elétrica fornecida pelo módulo admitindo que a mesma dependa apenas da temperatura da célula, para maiores detalhes ver ZILLES et al. (2012);

q_{topo} : Fluxo de calor da célula FV para ambiente através do topo do PV/T (W/m²);

q_{eff} : Fluxo de calor da célula FV para a placa do coletor solar acoplada ao módulo FV (W/m²);

q_u : Fluxo de calor efetivamente transferido para a água circulando através do PV/T (W/m²);

q_{costas} : Fluxo de perda de calor através das costas das costas do PV/T (W/m²);

T_{cell} : Temperatura média da célula fotovoltaica (K);

T_{pv1} : Temperatura interna da cobertura de vidro do PV/T(K);

S : Irradiância que chega até o plano que contém as células FV (W/m²);

V_w : Velocidade do vento sobre o topo PV/T (m/s).

T_{pv2} : Temperatura externa do vidro do PV/T(K);

T_a : Temperatura ambiente (K);

T_p : Temperatura média da placa plana acoplada no módulo fotovoltaico (K);

T_{ref} : Temperatura de referência das células fotovoltaicas para as condições padrões de teste, igual a 25° (STC – 1000 W/m², air mass AM de 1,5);

β :Inclinação do PV/T e relação ao solo na horizontal (graus);

δ_{eva} : Espessura da cobertura de EVA acima da célula(m);

$\delta_{eva,tedlar,cola}$: Soma da espessura das camadas de EVA, Tedlar abaixo das células FV e da cola utilizada para unir o FV as aletas do coletor solar térmico (m);

δ_{vidro} : Espessura da cobertura de vidro (m);

σ : Constante de Stefan-Boltzman igual a $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$;

$\tau\alpha_{eff}$: Coeficiente de transmissividade-absortividade para o modelamento térmica, descontada à geração de energia elétrica pelas células fotovoltaicas. Para maiores detalhes ver ZONDAG (2013);

$\tau\alpha$: Coeficiente de transmissividade-absortividade para o módulo FV. Para maiores detalhes ver ZONDAG (2013);

τ_{pv} : Coeficiente de transmissividade do vidro FV. Para maiores detalhes ver ZONDAG (2013);

γ_T : Coeficiente de temperatura para a máxima potência do módulo FV nas condições padrão de teste - STC (°C⁻¹).

2.2 BALANÇO DE ENERGIA PARA A PARTE POSTERIOR DO PV/T

$$h_{eva+tedlar+glue}(T_{cell} - T_p) = q_u + h_{isol}(T_p - T_{costas\ 1}) \quad (13)$$

$$h_{isol}(T_p - T_{costas\ 1}) = h_{costas} (T_{costas\ 1} - T_{costas\ 2}) \quad (14)$$

$$h_{costas}(T_{costas\ 2} - T_a) = h_{rad,costas,ceu}(T_{costas\ 2} - T_a) + h_{rad,costas,solo}(T_{costas\ 2} - T_a) + h_{conv,total}(T_{costas\ 2} - T_a) \quad (15)$$

$$q_{perdas} = q_{topo} + q_{costas} + q_{lateral} \quad (16)$$

$$h_{isol} = \frac{k_{isol}}{\delta_{isol}} \quad (17)$$

$$h_{costas} = \frac{k_{costas}}{\delta_{costas}} \quad (18)$$

$$h_{rad,costas,ceu} = (1 - F_{topo,ceu}) \sigma E_{back} (T_{costas}^2 + T_a^2) (T_{costas} + T_a) \quad (19)$$

$$h_{rad,costas,solo} = (1 - F_{topo,solo}) \sigma E_{back} (T_{costas}^2 + T_a^2) (T_{costas} + T_a) \quad (20)$$

$$h_{conv,total} = \sqrt[3]{h_{conv,costas,f}^3 + h_{conv,costas,n}^3} \quad (21)$$

$$h_{conv,costas,f} = \frac{k_a N_{uf}}{L_h} \quad (22)$$

$$h_{conv,costas,n} = \frac{k_a N_{un}}{L_h} \quad (23)$$

$$q_u = (S_{eff} - U_L (T_p - T_a)) \quad (24)$$

$$S_{eff} = I_T \tau \alpha_{eff} \quad (25)$$

$$U_e = \frac{k_{isol,lat}}{\delta_{isol,lat}} \frac{A_{lat}}{A_c} \quad (26)$$

$$q_{lat} = U_e (T_p - T_a) \quad (27)$$

$$q_{total} = U_L (T_p - T_a) \quad (28)$$

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (29)$$

Onde:

$A_{lateral}$: Área lateral do PV/T (m²);

A_c : Área superior externa do PV/T, é a área por onde irradiação penetra no PV/T (m²);

E_{back} : Emissividade do acabamento da superfície da parte posterior do PV/T;

h_{isol} : Condutividade térmica do isolante colocado no fundo do PV/T (W/m²-K);

$h_{rad,costas,ceu}$: Coeficiente de transferência de calor por radiação entre a parte posterior do PV/T e o céu (W/m² K);

$h_{rad,costas,solo}$: Coeficiente de transferência de calor por radiação entre a parte posterior do PV/T e o solo (W/m² K);

$h_{conv,total}$: Coeficiente de convecção total da parte posterior do PV/T (W/m²-K);

$h_{conv,costas,f}$: Coeficiente de convecção forçada total da parte posterior do PV/T (W/m² K);

$h_{conv,costas,n}$: Coeficiente de convecção natural total da parte posterior do PV/T (W/m² K);

h_{costas} : Condutividade térmica através do fechamento da parte posterior do PV/T (W/m² K);

- k_a : Condutividade do ar próximo a parte posterior do coletor (W/m K);
- $k_{isol,lat}$: Condutividade térmica do isolamento lateral do PV/T (W/m K);
- L_h : Comprimento horizontal do PV/T, considerando para incidência lateral de vento, na velocidade de V_w (m);
- N_{uf} : Número de Nusselt para o escoamento de ar forçado nas costas do coletor (-);
- N_{un} : Número de Nusselt para o escoamento de ar em circulação natural nas costas do coletor (-);
- q_u : Calor efetivamente transferido para a água circulando através do PV/T;
- T_p : Temperatura da placa plana do coletor tubo-aleta (K);
- $T_{costas 1}$: Temperatura interna do fechamento da parte posterior do PV/T (K);
- $T_{costas 2}$: Temperatura externa do fechamento da parte posterior do PV/T (K);
- U_L : Coeficiente de perdas totais de calor do PV/T (W/m² K);
- U_e : Coeficiente de perdas térmicas pela lateral do PV/T (W/m² K);
- $\delta_{isol,lat}$: Espessura do isolamento lateral do PV/T (m).

2.3 EFICIÊNCIA TÉRMICA E ELÉTRICA

O equacionamento da eficiência térmica e elétrica do PV/T é dado pela Eq. (30) e Eq. (31) e a Tab. 1 e Fig. 4. mostram as características do PV/T simulado no software Engineering Equation Solver (EES) e as especificações do módulo FV utilizado.

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{I_T A_c} \quad (30)$$

$$\eta_t = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (31)$$

Onde:

η_{el} : Eficiência elétrica do PV/T (-);

η_t : Eficiência térmica PV/T (-);

Q_u : Calor útil transferido para a água (W);

Tabela 1 – Características do PV/T simulado.

| | | | |
|--|---------------------|---|--------------------------|
| Largura | 0,99 m | Condutividade do vidro | 1,40 W/m K |
| Comprimento | 1,662 m | Condutividade do EVA | 0,35 W/m K |
| Área coletora | 1,65 m ² | Condutividade do Tedlar | 0,20 W/m K |
| Espessura total do PV/T | 0,05 m | Condutividade da cola | 0,85 W/m K |
| Espessura do vidro | 0,0030 m | Condutividade da aleta | 401,0 W/m K |
| Espessura do EVA sobre a célula | 0,00050 m | Condutividade dos isolamentos do PV/T | 0,04 W/m K |
| Espessura do EVA abaixo da célula | 0,00050 m | Condutância da solda | 500,0 W/m K |
| Espessura do Tedlar | 0,00010 m | Coefficiente convectivo nos tubos verticais | 262,5 W/m ² K |
| Espessura da cola | 0,000050 m | Afastamento entre os eixos dos tubos | 0,1 |
| Espessura da aleta | 0,00060 m | Diâmetro do manifold | 0,022 m |
| Espessura do isolamento das costas | 0,045 m | Diâmetro dos tubos verticais | 0,01 m |
| Espessura do isolamento lateral | 0,02250 m | Número de tubos | 10 |
| Espessura do fechamento da parte posterior | 0,0010 m | Inclinação | 30 ° |

Figura 4 – Características do módulo FV utilizado.

| ELECTRICAL PERFORMANCE | | | MODULE CHARACTERISTICS | | |
|---|-------|------|---|-------------------|----|
| At 1000 W/m² (STC)* | | | Dimensions | | |
| Maximum Power | 245 | W | Length | 1662 (+2.5) | mm |
| Maximum Power Voltage (V _{mp}) | 29.8 | V | Width | 990 (+2.5) | mm |
| Maximum Power Current (I _{mp}) | 8.23 | A | Depth (Including Junction Box) | 46 | mm |
| Open Circuit Voltage (V _{oc}) | 36.9 | A | Weight | 21 | kg |
| Short Circuit Current (I _{sc}) | 8.91 | A | Cable | (+)1190 / (-)960 | mm |
| Efficiency | 14.8 | % | Connection Type | PV-03 (SMK) | |
| At 800 W/m² (NOCT)** | | | Junction Box | 113 x 82 x 15 | mm |
| Maximum Power | 176 | W | Number of Bypass Diodes | 3 | |
| Maximum Power Voltage (V _{mp}) | 26.8 | V | IP Code | IP65 | |
| Maximum Power Current (I _{mp}) | 6.58 | A | Cells | | |
| Open Circuit Voltage (V _{oc}) | 33.7 | A | Cell Per Module | 60 | |
| Short Circuit Current (I _{sc}) | 7.21 | A | Cell Technology | multi-crystalline | |
| NOCT | 45 | °C | Cell Dimensions (Square) | 156 x 156 | mm |
| Other Electrical Characteristics | | | Cell Bonding | 3 busbar | |
| Power Tolerance | +5/-3 | % | * Electrical values under standard test conditions (STC) = irradiation of 1000W/m ² , air mass AM 1.5, and cell temperature of 25°C. | | |
| Maximum System Voltage | 1000 | V | ** Electrical values under normal operating test conditions (NOCT) = irradiation of 800W/m ² , air mass AM 1.5, wind speed of 1m/s, and ambient temperature of 20°C. | | |
| Maximum Reverse Current | 15 | A | KYOCERA reserves the right to modify these specifications without notice. | | |
| Series Fuse Rating | 15 | A | | | |
| Temperature Coefficient of (V _{oc}) | -0.36 | %/°C | | | |
| Temperature Coefficient of (I _{sc}) | 0.06 | %/°C | | | |
| Temperature Coefficient of Max. Power | -0.46 | %/°C | | | |

3. RESULTADOS

Nas Fig. 5 e Fig. 6, podem ser observadas as eficiências térmicas e elétricas respectivamente obtidas da modelagem matemática /simulação numérica realizada, com a variação da velocidade do vento e irradiância incidente sobre o PV/T para as condições apresentadas na Tab. 1 e as características do módulo FV apresentada na Fig. 4.

Figura 5 – Eficiência térmica em função da radiação solar e velocidade do vento.

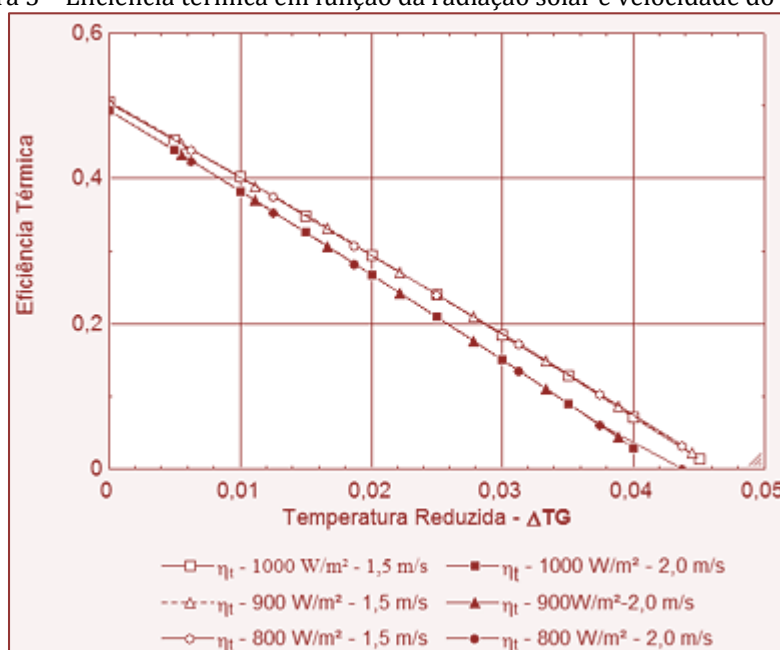
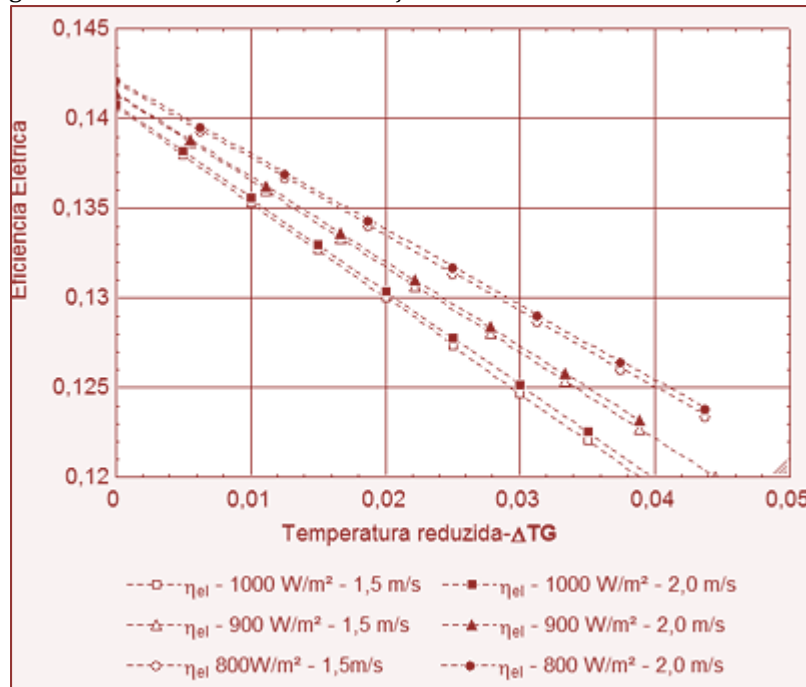


Figura 6 – Eficiência elétrica em função da irradiância e velocidade do vento.



4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como pode ser percebido através da Fig. 5 e Fig. 6 o aumento da velocidade do vento para uma incidência fixa de irradiância, gera uma redução na eficiência térmica do PV/T, já que as perdas térmicas pelo topo e também lateral e base tendem a aumentar, como foi observado por ZONDAG (2015). Entretanto, a eficiência elétrica apresenta um aumento, já que com maiores perdas de calor as células FV operam em temperaturas menores, permitindo uma produção maior de eletricidade.

Já o aumento da irradiância incidente sobre o PV/T para uma velocidade de vento constante, causa um aumento da eficiência térmica do PV/T e redução da eficiência elétrica. Pois, com maiores índices de irradiância as células FV atingem maiores temperaturas, geram menos energia elétrica e, portanto, mais calor fica disponível para ser transferido para a água. Dessa forma, se os respectivos conjuntos de pontos de cada condição avaliada, fossem reduzidos a uma reta, a inclinação das mesmas, para o caso da eficiência térmica, não alteraria com a variação da irradiância e sim com a variação da velocidade do vento. O mesmo não acontece com as retas que descrevem a eficiência elétrica, que além de ter os valores de eficiência reduzidos pelo aumento da radiação solar, também tem sua inclinação modificada com essa variação. Além disso, uma pequena variação na temperatura impacta muito mais a eficiência térmica do que a elétrica em qualquer uma das condições avaliadas. Dessa forma, um aumento, conjunto, da eficiência elétrica e térmica, geraria “conflitos”, pois, o aumento de uma, implicaria na redução inevitável da outra sendo que se fosse inserida outra cobertura de vidro sobre o PV/T, com o intuito de se criar um efeito estufa semelhante ao que acontece nos coletores solares planos, a eficiência térmica seria beneficiada em detrimento da eficiência elétrica.

Finalmente, também pode ser percebido a partir da Fig. 5 e Fig. 6 que, para se obter maior eficiência elétrica é interessante que a temperatura da água de entrada no PV/T seja baixa. Logo, em uma aplicação na qual exista um reservatório térmico para acumular água, a eficiência elétrica do PV/T, irá se reduzir ao longo do dia, caso não haja consumo. Dessa forma, fica claro que, o desempenho real de um PV/T é função da aplicação ao qual o mesmo se destina como destacado por SANDNES e REKSTAD (2002), onde o PV/T simulado apresentou ótimo desempenho em faixas de temperatura entre 20°C e 40°C.

5. CONCLUSÕES

Essas simulações iniciais permitiram observar o comportamento térmico e elétrico da tecnologia PV/T diante da variação de dois parâmetros climatológicos (irradiância e velocidade do vento), identificado que o uso da tecnologia PV/T deve ter como foco como por exemplo, em processos que demandem baixas

temperaturas, como piso radiante para aquecimento de ambientes, que requerem além do calor, a eletricidade para movimentar as motobombas, que inclusive, poderiam ser de corrente contínua ou então, em processos de consumo constante de água quente onde água fria estaria fluindo constantemente pelo PV/T e assim, realizaria o pré-aquecimento da mesma para posteriormente ser aproveitada em coletores solares térmicos convencionais de forma a atingir temperaturas mais elevadas para um determinado processo.

Além disso, também ficou claro que o uso do PV/T é uma solução interessante principalmente por permitir a cogeração de energia elétrica e calor em um único espaço, o que é de grande valia para locais que necessitam de ambas as formas de energia e dispõem de pouca área ou possuem limitações de carga estrutural.

Por fim, é necessário que sejam construídos protótipos de PV/T, como o que foi gerado através dos subsídios teóricos deste trabalho, e conforme mostra a Fig.1, para que seja realizados ensaios/testes e assim, obter resultados reais do comportamento de um PV/T, atualmente em fase de teste, e validar os modelos teóricos podendo assim, difundir a tecnologia não somente para o mercado, mas também, com perspectivas de custos mais acessíveis, aos usuários finais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), pelo apoio financeiro na elaboração dos protótipos de PV/T, ao Centro Federal de Tecnologia de Minas Gerais (CEFET) pela disponibilização do software Engineering Equation Solver (EES). E a Sollider Energia Solar, pelo apoio dado na concepção e construção dos protótipos de PV/T.

Este artigo é fruto do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) GT 498 da FAPEMIG, regulado pela ANEEL.

REFERÊNCIAS

- [1] CHOW, T.T.,2010. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, v.87, pp. 365-379.
- [2] DAGHIGH, R. et al., 2011. Effect of Packing Factor on the Performance of PV/T Water Heater. In: International Conference on ENERGY & ENVIRONMENT, 6th., 2011, Cambridge. Recent Researches in Energy & Environment ... Cambridge: WSEAS Press, pp. 304-309. Disponível em < <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Cambridge/EE/EE-50.pdf> >.
- [3] DUFFIE, John A., BECKMAN, William A. 2006. "Solar Engineering of Thermal Process" 2nd ed, John Wiley & Sons. Inc. Hoboken, New Jersey.
- [4] Ferreira, André G. et al., 2014 Otimização da Eficiência Elétrica de Módulos Fotovoltaicos Através do Acoplamento de Trocadores de Calor Tipo Tubo-Aleta. In: VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica – CITENEL. Costa do Sauípe, Bahia.
- [5] Koech, R. K., Ondieki, H.O., Tonui, J.K., Rotich, S.K., 2012. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH, v. 1, n.11, pp. 2277-8616.
- [6] Palla, Nansi et al.,2014. Development of Multivalent PV-Thermal Collectors for Cooling, Heating and Generation of Electricity. In: INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE, 30., 2014, Ahmedabad. Anais... Ahmedabad: CEPT University,pp. 16-18.
- [7] Sandnes, Bjornar., Rekstad, Jhon. 2002. A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with a polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. *Solar Energy*, v.72, ed.1, pp. 63-70.
- [8] Tripanagnostopoulos, Y.,2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/termal solar energy systems. *Solar Energ*, v. 81, p.1117-1131.
- [9] Zilles, R.,2012. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, Oficina de textos - São Paulo.
- [10] Zondag, H. A., 2003. The yield of different combined PV-thermal collector designs, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [11] ZONDAG, H.A., Jong, M.J.M., Van Helden, W.G.J.,2015. Development and Applications for PV Thermal. Disponível em: < <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2001/rx01025.pdf>>. Acesso em : 25. Jul. 2015.

Capítulo 20

Ensino técnico em sistemas de energias renováveis no Semiárido Brasileiro

Manuel Rangel Borges Neto

Ricardo Maia Costa

Francisco Jonatas Siqueira Coelho

Poliana Silva

Luiz Carlos Nascimento Lopes

Resumo: Este trabalho contém informações de ações desenvolvidas no Instituto Federal Sertão Pernambucano para a formação de mão de obra qualificada para atuar no projeto, operação e manutenção de sistemas de energias renováveis em especial na conversão da energia solar no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Solar Fotovoltaica. Solar Aquecimento. Formação profissional

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de energia elétrica é um dos elementos que estão na base do desenvolvimento econômico de qualquer comunidade moderna. A geração de energia elétrica no Brasil tem como principal fonte a geração hidrelétrica, normalmente obtida por grandes centrais e transmitida aos grandes centros através de linhas de transmissão que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN).

A crescente demanda por energia, bem como, as limitações impostas por crises hídricas nas bacias dos rios, a redução do potencial fluvial disponível para geração de energia elétrica, impulsionam investimentos no sentido de diversificar a matriz energética no país.

A geração distribuída, ou seja, próximo aos centros de consumo, reduz as perdas referentes à transmissão de energia elétrica e, por sua vez, alimenta uma cadeia produtiva local gerando novos empregos, bens e serviços ou mesmo aumento na arrecadação tributária para os municípios (BORGES NETO e CARVALHO, 2012).

O nordeste brasileiro, à exceção da geração hidrelétrica aproveitada pela bacia do rio São Francisco, presenciou a expansão do sistema de geração de energia por outras fontes renováveis, sobretudo, a geração eólica que inicialmente limitada ao litoral avança para o interior do continente e ocupando áreas em calhas de rios, ao redor de lagos e em novas áreas que são identificadas a cada dia. Contudo, os investimentos têm sido viabilizados somente em com aerogeradores de grande porte, cuja tecnologia associada, requer uma mão de obra especializada.

Outro potencial que cresce na região é o aproveitamento da energia solar, tanto para aquecimento quanto para geração de energia elétrica. Porém, diferente do aproveitamento eólico e com o advento da resolução da ANEEL 482 (2012), que trata da microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, essa forma de conversão de energia tende a popularizar-se demandando uma mão de obra, em princípio não tão especializada quanto às demandadas por empreendimentos como os parques eólicos, mas suficientemente capacitada para lidar com as novas tecnologias.

Neste cenário o grupo de pesquisa Energia no Meio Rural, credenciado pelo Instituto Federal Sertão Pernambucano (IFSertão-PE) desde 2007 vem realizando ações para o desenvolvimento das diversas formas de energias renováveis no semiárido.

O IFSertão-PE tem sua reitoria sediada em Petrolina-PE (Figura 1), possui 7 campi e 3 Centros Vocacionais Tecnológicos (CVT), 15 cursos técnicos, 8 cursos superiores e 5 pós-graduações em um total de 8500 alunos matriculados. Professores e pesquisadores foram incentivados através de palestras e capacitações em nível de pós-graduação, bem como, convidados a contribuir, dentro de sua especialidade, com o tema cujos resultados foram, o aumento gradativo de propostas de pesquisa e extensão e a oferta de novos cursos. Dentre os destaques está a oferta, em 2013, do primeiro curso na modalidade presencial Técnico em Sistemas de Energias Renováveis no Brasil.

Figura 1. Localização do Município de Petrolina-PE e delimitação da região semiárida no Nordeste Brasileiro



Fonte: (SILVA et al.2002).

2. O CURSO TÉCNICO SISTEMAS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Com foco na formação sólida e com elevado conteúdo prático o curso foi dimensionado a atender diferentes formas de energias renováveis. O curso de 1200 horas originalmente ofertado no âmbito do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (BRASIL, 2015) é ofertado em quatro módulos semestrais na modalidade concomitante, ou seja, o aluno cursa o ensino médio regular em uma escola diferente do IF Sertão-PE, que acrescido de 200 horas mínimas de estágio obrigatório garante o diploma de técnico de nível médio. A matriz curricular disposta na figura 2 permite identificar três linhas formadoras básicas: a linha de aproveitamento e geração de energia elétrica, uma linha de formação básica em mecânica e aproveitamento térmico, uma linha de administração de projetos.

2.1. A INFRAESTRUTURA

Para o estabelecimento do curso foi utilizada a infraestrutura já existente do curso de técnico em Eletrotécnica do Campus Petrolina, que além de salas de aula climatizadas, conta com laboratórios completos de eletricidade, eletrônica, instalações elétricas de baixa e média tensão, e ainda, o laboratório de pesquisa em energias renováveis (LAPER) que contam com equipamentos específicos como unidade móvel para sistemas fotovoltaicos (figura 3), aerogerador de 1kW, gerador acionado à biogás.

Complementares aos laboratórios específicos o campus oferece toda a infraestrutura própria do campus como biblioteca com acervo específico e diversificado, acesso à internet, área de esportes e lazer, laboratórios interdisciplinares e especialidades como laboratórios de química, águas e análise por cromatografia gasosa.

O campus Zona Rural, distante 12 km por sua vez oferece oportunidade de interação com o curso no meio rural através do Centro Vocacional de Agroecologia e, também, onde está localizado a torre para aquisição de dados de velocidade direção em padrão comercial em 3 alturas, temperatura e irradiação solar (Figura 4). Conta ainda com laboratórios de solos e desenvolvem-se parcerias para soluções de aproveitamento de biomassa.

2.2. AULAS PRÁTICAS

Além das aulas realizadas em nos laboratórios específicos há o compromisso em levar ao aluno o maior contato possível com as instalações comerciais em funcionamento, onde não só identificam o princípio de funcionamento, mas, trocam experiências com profissionais que atuam na área e, ainda, permitem observar quais as principais demandas do setor para o segmento. As figuras de 5 a 10 trazem imagens representativas das atividades realizadas em disciplinas do curso. Por sua vez a figura 11 traz o registro de visitas técnicas à empreendimentos na região.

2.3. CORPO DOCENTE

O corpo docente é formado essencialmente por professores do quadro permanente do IF Sertão-PE, porém, quando necessário, são contratados bolsistas externos mas, ambos por edital específico. A exigência mínima é de graduação na área específica da disciplina, ou ainda, com cursos de pós-graduação ou experiência comprovada, sobretudo para as do eixo de energias renováveis. Os professores que atuaram até 45% dos professores são graduados ou especialistas e 55% de mestres e doutores.

Figura 2 Matriz curricular do curso técnico em Sistemas de Energias Renováveis do IFSERTÃO-PE

| MÓDULO 01 | | Carga Horária |
|---------------------------------|--|---------------|
| Matemática Aplicada | | 60 |
| Ética e Cidadania | | 30 |
| Inglês Instrumental | | 45 |
| Eletricidade I | | 60 |
| Mecânica Básica | | 60 |
| Comunicação e Expressão | | 45 |
| Sub-Total | | 300 |
| MÓDULO 02 | | Carga Horária |
| Energia e Meio Ambiente | | 30 |
| Eletricidade II | | 60 |
| Princípios da Termodinâmica | | 30 |
| Mecânica dos Flúidos | | 30 |
| Higiene e Segurança do Trabalho | | 30 |
| Instalações Elétricas | | 90 |
| Informática Aplicada | | 30 |
| Sub-Total | | 300 |
| MÓDULO 03 | | Carga Horária |
| Máquinas Elétricas | | 60 |
| Energia Solar – Térmica | | 45 |
| Máquinas Térmicas | | 60 |
| Eletrônica I | | 45 |
| Energia Eólica | | 30 |
| Empreendedorismo | | 30 |
| CAD | | 30 |
| Sub-Total | | 300 |
| MÓDULO 04 | | Carga Horária |
| Energia Hidráulica | | 60 |
| Energia Solar – Fotovoltaica | | 45 |
| Eletrônica de potência | | 45 |
| Biomassa | | 60 |
| Engenharia Econômica | | 30 |
| Gestão de Projetos | | 30 |
| Inovação e Tecnologia | | 30 |
| Sub-Total | | 300 |
| Carga Horária das Disciplinas | | 1200 |
| Estágio Curricular | | 200 |
| Total Geral | | 1400 |

Figura 3 Unidade móvel para ensino de Energia Solar Fotovoltaica..



Figura 4. Torre com sistema de aquisição de dados Campus Petrolina Zona Rural



Figura 5 Aula prática - Construção de um desidratador solar



Figura 6 Aula prática - Construção de um forno solar de baixo custo



Figura 7. Aula prática - Construção de um coletor solar de baixo custo



Figura 8. Aula prática – Bombeamento Fotovoltaico



Figura 9. Aula prática – Biomassa confecção de briquetes.



Figura 10. Aula prática – Máquinas Térmicas.



Figura 11. Visitas técnicas



2.4. PRINCIPAIS RESULTADOS DIFICULDADES

O IFSertão –PE tem oferecido turmas com entradas anuais, 30 vagas. A primeira em 2013 e a segunda em 2014, ambas na modalidade concomitante com alunos da escola pública estadual e, encaminhados pelas próprias escolas. A terceira turma com entrada em 2015.2 teve a forma de ingresso através do SISUTEC, e por consequência ofertada na modalidade subsequente.

A primeira turma do curso Técnico em Energias Renováveis formou 16 profissionais ao final de 2014 a segunda 14, sendo indicado como principal causas da evasão: não identificação com o curso, baixo rendimento escolar e, carência na formação do ensino fundamental.

Outra dificuldade associada ao curso está na divulgação da profissão, haja vista ser um curso novo, incluído no catálogo do Ministério da Educação em 2012, ainda tramita no Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) a habilitação profissional desta formação. Há ainda carência de professores qualificados para energias renováveis no país bem como vagas para estágio curricular obrigatório.

O IFSertão-PE tem representação no Comitê Temático para Energias Renováveis e Eficiência energética, instituído pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação (SETEC-MEC) em 2015, para que até 2017, juntamente com representações dos segmento produtivo instituir políticas e diretrizes para formação de profissionais nos diversos níveis de atuação dos Instituto Federais

3. CONCLUSÕES

Há necessidade urgente na preparação de profissionais para atuarem no segmento emergente das fontes renováveis de energia.

Faz-se necessário uma maior divulgação da formação profissional específica em energias renováveis por parte das instituições formadoras.

O IFSertão-PE vem cumprindo sua missão de formar profissionais nos diversos níveis de ensino. Um dos pioneiros no Brasil a ofertar cursos de qualificação e técnico de nível médio, tem como desenvolvimento futuro a oferta de cursos de graduação e pós graduação na área.

REFERÊNCIAS

- [1] Borges Neto, M. R., Carvalho, P. C. M., 2012. Geração de Energia Elétrica- Fundamentos, 1ª.Edição, Editora Érica.
- [2] Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012. Resolução Normativa 482 de 17 de Abril de 2012.
- [3] SILVA, Maria Sônia L. da et al . 2002. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande ,v. 6,n. 2, p. 314-320, 2002
- [4] BRASIL, 2015. Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC) disponível em< <http://pronatec.mec.gov.br>

Autores

AFONSO CELSO DE SOUZA OLIVEIRA

Engenheiro Eletricista - UNITAU/Taubaté/1999, Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Faculdade Cândido Mendes/2013 e Instrumentação e Controle de Processos Industriais-UFES/2010. Atuou na CESAN em captação, operação de elevatórias, manutenção eletromecânica, eficiência energética e automação de controle de processos. Foi responsável por análise, elaboração e fiscalização de projeto de projetos elétricos e de automação.

ALESI TEIXEIRA MENDES

Engenheiro civil e pesquisador nas áreas de Recursos Hídricos e Projetos de Saneamento. Especialista em Geoprocessamento e Georreferenciamento e Mestre em Engenharia Ambiental. Professor dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo do Instituto Presidente Antônio Carlos – ITPAC Porto Nacional e da Universidade de Gurupi.

ALESSANDRA CHAGAS DANIEL

Mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2016). Possui graduação em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2010) e graduação em Engenharia Química pelo Centro Universitário UNA (2013). Atualmente é Engenheira de Tecnologia e Normalização e gerente de projetos - Cemig Geração e Transmissão, atuando na área de alternativas energéticas (biomassa, solar, eólica e gás natural).

ALEX MAURÍCIO ARAÚJO

Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPE, onde mantém atividades docentes em regime de Dedicção Exclusiva desde 1978. Foca nos conteúdos disciplinares e seu ensino na Graduação e Pós-Graduação enfatizando as aplicações técnicas da Mecânica dos Fluidos. Pesquisador Bolsista de Produtividade do CNPq (DT-2) de 2009-2018 e (PQ-2) de 2020-2022. Concebeu a formação, implantou e lidera o Grupo de Mecânica dos Fluidos Ambiental da UFPE cadastrado no Diretório Grupo de Pesquisas do CNPq (1994) e o seu associado Laboratório de Fluidos (2001).

AMANDA MELISSA DAMIÃO LEITE

Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2006), mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2008), e doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Participou do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD) Capes na Universidade Federal de Campina Grande (2011-2015). Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica sem ênfase, tendo atuado em Síntese de pós e atualmente desenvolvendo trabalho na área de Nanocompósitos Poliméricos, Membranas Poliméricas e Blendas Poliméricas. Atualmente professora da Escola de Ciência e Tecnologia da UFRN.

ANA CARINA CRUZ DE MELLO

Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2014) e mestrado pelo programa EPQB da Universidade Federal do Rio de Janeiro (2017). Atualmente é aluna de doutorado no programa de pós graduação EPQB da Escola de Química, UFRJ. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química Industrial e Tratamento de Efluentes

ANA FLÁVIA ROCHA MONTEIRO

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade de Gurupi - UnirG.

ANA LETÍCIA NÓBREGA RABELLO TAVARES

Engenheira Civil, graduada pela Universidade Federal de Campina Grande -UFCG, campus Campina Grande-PB. Atualmente , pós-graduanda em Engenharia de Estruturas e Fundações pela Unifip - Campina Grande, atuando como engenheira projetista no sertão da Paraíba.

ANDERSON ALLES DE JESUS

Possui Graduação em Ciências da Computação pela Universidade Tiradentes, Mestrado e Doutorado em Engenharia Processos pela Universidade Tiradentes. Atualmente é Professor na Universidade Federal do Maranhão, desenvolvendo atividades de pesquisa e ensino. Tem experiência na área de Ciências da Computação, com ênfase em Métodos Computacionais, Modelagem Matemática, Instrumentação e Controle de Processos, atuando principalmente em temas relacionados a biocombustíveis, fluidos pressurizados, Mineração de Dados e Machine Learning.

ANDRE ANDERSON COSTA PEREIRA

Bacharel em Engenharia Química (UFRN), mestrado e doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); com especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade Potiguar (UnP). Tem experiência no desenvolvimento de produção de partículas nano/micrométricas de PMMA e PCL, obtenção de curvas cinéticas para reações de biodiesel e saponificação e desenvolvimento de aparato experimentais. Além disso, possui experiência também na produção de sucos naturais e foi co-autor na formulação do Suco de Fruta "Sumo". Atua como docente temporário pelo Centro Estadual de Educação Profissional Senador Jesse Pinto Freire - CENEP e E. E. Professor Luis Antônio.

ANDRÉ GUIMARÃES FERREIRA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1997), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2000) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004). Atualmente é professor efetivo do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, atuando no curso técnico de Mecatrônica, na Graduação em Engenharia de Materiais e no Mestrado em Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Aproveitamento da Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: secadores solares, secagem solar, chaminé solar e simulação numérica.

ANDRÉA MEDEIROS SALGADO

Professora Titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui graduação em química com atribuições tecnológica pelo Instituto de Química da UFRJ (1993), mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ (1997) e doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da UFRJ (2001). Tem experiência na área de Bioengenharia, com ênfase em Biossensores e sistemas de análise aplicados a bioprocessos, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de bioprocessos, monitoramento "on-line" de bioprocessos usando sistemas FIA (Análise Injeção em fluxo) e instrumentação industrial na área de sensores biológicos, desenvolvimento de biossensores enzimáticos, microbianos e de tecido vegetal para quantificação de diversos compostos (etanol, sacarose, fenol, ureia, metano, metanol, catecol, agrotóxicos, ácido benzoico, Gás sulfídrico, qualidade de óleos vegetais, qualidade de biocombustíveis etc.) com aplicação na monitoração destes nas mais diferentes áreas (bioprocessos, ambiental, alimentos, clínica etc) e desenvolvimento de imunossensores. Além disso atua na área de Biossegurança.

ANTONIO RONIEL MARQUES DE SOUSA

Possui Graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Pará (2016) e Mestrado em Engenharia Elétrica (Sistemas Elétricos de Potência) pela Universidade Federal do Pará (2018). Atualmente é aluno de Doutorado em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) na Universidade Federal do Pará no Campus de Belém. Segue uma linha de pesquisa relacionada a análises multifísicas em transformadores de potência através de simulações computacionais utilizando o Método de Elementos Finitos

ASTHON CÉSAR NUNES DE OLIVEIRA FILHO

Especialização em Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (2020), graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Amazonas (2018). Possui graduação-sanduíche em Civil Engineering - Budapest University of Technology and Economics (2015).

CARLA SOUZA CALHEIROS

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas (1998), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas (2004) e doutorado em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2010). Professora adjunta na Universidade do Estado do Amazonas, professora do Centro Universitário do Norte e professora da Universidade Nilton Lins. Vice-presidente do IBAPE/AM. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Processos Construtivos, Estruturas e Transportes, atuando principalmente nos seguintes temas: avaliações, custos, inspeção predial e perícias.

CARLOS GOMES FONTINELLE

Bacharel em Engenharia Industrial Elétrica pelo Instituto de Tecnologia da Amazônia (UTAM) desde 1992. Especialista em Informática na Educação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) desde 2015. Mestre em Ciências e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Pará (UFPA) desde 2018. Professor Efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) desde 2003. Engenheiro Eletricista da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) desde 2003. Coordenador de Manutenção Técnica do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam) no período de 2008 - 2013. Experiência na área de Engenharia Elétrica com ênfase em Radionavegação, Radiocomunicação, Telefonia Móvel Celular, Sistemas Elétricos de Potência e Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.

CARLOS MAGNO CASSIO DE ASSIS

Concluiu o Curso Técnico em Eletrônica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) desde 2016. Atualmente é discente do Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial (TEI) pelo IFAM. Técnico em Eletrônica no Hospital Universitário Getúlio Vargas (HUGV) desde de 2018. Experiência na área de Eletrônica e Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.

CARLOS WAGNER LOBO SIQUEIRA

Engenheiro Químico - UFS (1988), especialização em Química de Petróleo - Análise de Fluidos - UFBA (1990), bacharelado em Direito pela UNIT (1999), especialização em Automação Industrial - UNIT (2005) e mestrado acadêmico em Engenharia Química - PEQ/UFS (2014). Atualmente é Engenheiro Químico de Petróleo Sênior da Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS (desde 1990) e Consultor de Segurança de Processos e Práticas Operacionais da Unidade de Operações de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas - UO-SEAL (desde 2018). Condecorado em 2018 com a Ordem do Mérito do Trabalho Getúlio Vargas - grau de Oficial, pelo Ministério do Trabalho e Emprego da República Federativa do Brasil (DOU - 06/11/2018).

CATIA FREDERICCI

Graduação em Química pela Universidade Federal de São Carlos, mestrado e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. Atuação na área de P&D&I em Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em cerâmica e vidro. Pesquisadora e Professora do Mestrado Profissional do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

CELSO EDUARDO BRITO

Graduado em LICENCIATURA EM MATEMÁTICA pela Universidade Federal da Bahia (2004). Mestre em Matemática pelo PROFMAT, da Universidade de Santa Cruz (2013). DOUTOR em ENSINO DE CIÊNCIAS pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências da Universidade Federal da Bahia (2019). Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA / Campus Eunápolis.

CÍCERA CAMILA ALVES MACÊDO

Bacharel em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará e especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNILEÃO. Na época da graduação fui Bolsista de monitoria, atuando nas áreas de Química Geral, Microbiologia básica, Biologia Geral e Estudo de Impacto Ambiental e Avaliação de Impacto Ambiental. Atualmente funcionária pública da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará -CAGECE, Professora da Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho (Faculdade Integrada de Patos - Crato-CE) e mestranda do curso de Pós-graduação Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri - UFCA.

CINTHIA MARIA DE ABREU CLAUDINO

Atualmente é mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB, com ênfase em recursos hídricos. Graduada em Engenharia Civil (UEPB). Durante a graduação foi membro participante do grupo de pesquisa CURIMATAÚ EFICIENTE que desenvolve pesquisas sobre sistemas hídricos e desenvolvimento sustentável. Foi membro da Pilares Consultoria Júnior de Engenharia Civil, ocupando o cargo de assessoria de recursos humanos.

CLAUDIA CLAUMANN DA SILVA

Possui graduação em Licenciatura em Matemática pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1996), graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2004) e Mestrado em Construção Civil pela Universidade Federal do Paraná (2007). Professora da Pontifícia Universidade Católica do Paraná desde 1997. Tem experiência na área de Matemática, Física, Materiais de Construção, Tecnologia do Concreto, Construção Civil e Desenvolvimento de construções sustentáveis. Coordenadora do curso de Especialização em Gerenciamento de obras na Construção Civil na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, iniciado em 2012.

DENES CARLOS SANTOS DA GRAÇA

Químico Industrial - UFS (2009) - CRQ nº 08200378, Mestre em Engenharia Química - Peq/UFS (2013) e Doutor em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos - EQ/UFRJ (2019), com estudo de tese sobre ligante modificado e misturas asfálticas para pavimento rodoviário. Possui experiência em análises laboratoriais por espectroscopia com transformada de Fourier na região do Infravermelho, microscopia ótica, análise térmica e reológica de materiais, atuando principalmente nos seguintes temas: ligante modificado com resíduos industriais, comportamento mecânico e reológico de misturas asfálticas para pavimento rodoviário e caracterização química e físico-química de materiais. ORCID: 0000-0002-1042-139X

ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO

Graduada em Engenharia da Computação – UFPA. Mestranda no Programa de Pós - Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE/UFPA). Pesquisadora no Laboratório de Concepção e Análise de Dispositivos Elétricos (LCADE) no Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia (CEAMAZON). Linhas de pesquisa: Indústria 4.0, Internet das Coisas (IoT) e Eficiência Energética.

ELISA MARIA BITTENCOURT DUTRA DE SOUSA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1980), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1988) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2001). Atualmente é orientadora - do Programa de Pós-graduação de Engenharia Química da UFRN e professora Associado IV da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Industriais de Engenharia Química, atuando principalmente nos seguintes temas: Extração e fracionamento de vegetais, tecnologia Supercrítica, Processos de Separação, biodiesel.

ELIZABETH MARQUES DUARTE PEREIRA

Possui graduação em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (1974), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (1982) e doutorado em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (1998). Professora aposentada, atuou como coordenadora de projetos de P&D na UFMG, PUC Minas e Instituto ANIMA SOCIESC. Tem atuado como consultora junto à Agência de Cooperação Brasil- Alemanha (GIZ), Câmara de Comércio Brasil - Alemanha (AHK), INMETRO, dentre outros. Tem experiência na área da Engenharia Térmica, com ênfase nos seguintes temas: Energia solar térmica e fotovoltaica. Modelagem matemática. Heliotermia. Refrigeração Solar. Eficiência Energética. Exergia. Cogeração.

EMMANUEL EDUARDO VITORINO DE FARIAS

Possui graduação em engenharia civil pela Universidade Federal de Campina Grande (2006) e mestrado em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (2009). Atualmente é engenheiro civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba-UEPB.

ERIC OLIVEIRA SANTOS

Estudante concluinte da Graduação em Licenciatura em Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, campus Eunápolis, com área principal de pesquisa em Análise de Erros e Obstáculos no Cálculo Diferencial e Integral.

FABIANA VALÉRIA DA FONSECA

Engenheira Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (2000), mestrado (2003) e doutorado (2008) em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professora e vice-diretora da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro e participa como docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Processos Químicos e Bioquímicos (EQ/UFRJ) e do Programa de Engenharia Ambiental (UFRJ). Atua como revisor dos periódicos Environmental Technology, J. Harz. Materials, Chemical Engineering Journal, Water Science and Technology e Desalination and Water Treatment. Os principais temas de pesquisa envolvem os Processos Oxidativos Avançados, tratamento e reúso de águas e efluentes industriais, remoção de micropoluentes em águas, processos físico-químicos e aplicação de nanopartículas no tratamento de águas.

FERNANDA DOS SANTOS GENTIL

Mestre na área da Engenharia Civil em Gerenciamento de Resíduos na Unisinos (RS) com término em 2020. Cursei especialização em Construções Sustentáveis na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com término em 2018. Tem experiência em Materiais de Construção, Tecnologia do Concreto, Desenvolvimento de Construções Sustentáveis e Gestão Empresarial e da Qualidade. Graduada em Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) com término em 2016. Formação no Ensino fundamental e médio no Colégio Militar de Curitiba (CMC) com término em 2011.

FERNANDO BRANT DA SILVA CARVALHO

Mestre em Administração de empresas pelo Centro Universitário Moura Lacerda, bacharel em Engenharia Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes. Coordenador e professor adjunto do Curso de Engenharia Civil da Universidade Paulista (Unip), Campus Ribeirão Preto.

FRANCISCO JONATAS SIQUEIRA COELHO

Graduação em Automação Industrial, mestre e doutorando em Ciências da Computação. É Professor do IF Sertão Pernambucano, pesquisador da área de Automação de Processos, Energias Renováveis e Smart Grids.

FRANCISCO JOSÉ DE PAULA FILHO

Graduação Química Industrial (1999), Licenciatura em Química (2002), mestre (2004) e Doutor (2014) em Ciências Marinhas Tropicais pela Universidade Federal do Ceará. É professor Adjunto III da Universidade Federal do Cariri (UFCA), onde foi coordenador de Inovação e Pró-reitor de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação. Atualmente é Coordenador da Central Analítica da UFCA. É professor permanente do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável - PRODER/UFCA.

GISÉLIA CARDOSO

Engenheira Química pela UFS (1979). Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1994) e Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (2000). É professora Titular da Universidade Federal de Sergipe, da Matéria de Ensino Materiais, lotada no Departamento de Engenharia Química. Integra os Programas de Pós-graduação em Engenharia Química e Engenharia Civil da mesma instituição. Atua na área de Engenharia de Processos Químicos. Linhas de pesquisa de interesse: síntese e modificação de polímeros, comportamento reológico de materiais, misturas asfálticas para revestimento de pavimento e, desenvolvimento de aditivo para correção de perfil de escoamento de óleo pesado. ORCID: 0000-0003-2640-3441.

GIZELE POLTRONIERI DO NASCIMENTO

Engenheira Eletricista graduada na UFES/2007, Especialização em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Inteligentes Aplicados à Automação IFES/2016 e em Pós em Docência na Educação Profissional e Tecnológica SENAI CETIQ/RJ/2018. Com experiência no ramo de siderurgia e mineração (ARCELOR MITTAL E CSN) na área de projetos, manutenção e automação. Docente do SENAI do curso técnico em Eletrotécnica.

IVAN MAGELA CORGOZINHO

Mestre em Engenharia de Energia com foco em sistemas de energia solar térmica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2015). Possui graduação em Engenharia de Energia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas (2012). Trabalhou no Grupo de Estudos em Energia Solar (GREEN Solar) entre 2011 e 2012, na Cemig na área de planejamento energético e planejamento da operação e coordenação do sistema elétrico brasileiro (SIN). Foi professor no curso de graduação em Engenharia Química do Centro Universitário UNI-BH, de disciplinas voltadas à área de ciências térmicas. Em 2014 foi cofundador da Imax Energia e atualmente é diretor de Engenharia da Imax Energia, onde atua na elaboração e coordenação de projetos de energia solar térmica e fotovoltaica, além da produção de conteúdos técnico-científicos. Tem experiência em treinamentos voltados para projeto de usinas solares fotovoltaicas de geração distribuída e softwares de simulação.

JACKSON ARAUJO DE OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe (1997), mestrado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ (2001) e doutorado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ (2006). Atualmente é Professor Associado I na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, atuando na área de Modelagem, Simulação e Controle de Processos. Tem experiência no desenvolvimento de modelos matemáticos aplicados a reatores (químicos e de polimerização) e bioreatores, a sistemas de secagem e a processos avançados de separação. Tem atuado ainda em estratégias de estimação de parâmetros e otimização de processos, além de instrumentação e controle de processos.

JAIR PAULINO DE SALES

Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica (URCA) e mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER/UFCA). Membro do Grupo de Pesquisa em Modelagem Estatística, Simulação e Otimização de Risco (MESOR/UFCA). Atualmente é professor do Centro Universitário Católica de Quixadá (UNICATÓLICA).

JANDECY CABRAL LEITE

Possui Graduação em Matemática pela Universidade Federal de Rondônia (1987). Graduação em Engenharia de Produção Elétrica pelo Centro de Ensino FUCAPI (2006). Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (2001). Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2013). Atualmente é colaborador da Universidade Federal do Pará e pesquisador do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Lógica Fuzzy, Resíduos Sólidos, Educação Ambiental, Ergonomia e Lean Manufacturing.

JEFFERSON ALAN DA SILVA LIMA

Graduado em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (UFPA) no Campus de Belém.

JÉSSICA AZEVEDO COELHO

Professora do quadro efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG. Atua nas áreas de Materiais de Construção e Tecnologia das Construções nos cursos Técnico em Edificações e Bacharelado em Engenharia Civil. Mestranda do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB (PPG-FAU) na área de concentração em Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade (TAS) na linha de pesquisa de Tecnologia de Produção do Ambiente Construído (TPAC). Integrante do projeto de extensão Meninas Cientistas: oficinas de Química, Engenharia e Robótica para estudantes do ensino fundamental (2019)

JÉSSICA DE SOUZA FORTES

Pós-graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário do Norte (2020), graduada em Administração pela Universidade Federal do Amazonas (2017), graduada em Engenharia Civil pela Universidade do Estado do Amazonas (2016). Possui experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em: pavimentação, materiais de construção, construção civil, orçamento e projetos (arquitetônicos, hidrossanitários, estruturais).

JOSÉ WILLIAM RIBEIRO BORGES

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará. Técnico em Informática pelo IFMS Campus Corumbá. Desenvolve pesquisas na área de Método de Elementos Finitos aplicados a Máquinas Elétricas. Experiência de estágio na Embrapa Pantanal na área de Geoprocessamento.

KALINE MELO DE SOUTO VIANA

Atualmente é Professora Associada II e vice-diretora da Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN, tendo sido coordenadora do curso de Ciências e Tecnologia entre os anos de 2015 a 2019. Atua em pesquisa científica na área de Ciências dos Materiais com ênfase em síntese de cerâmicas e polímeros para aplicação em biomateriais. Graduada em Engenharia de Materiais (2003), Mestre em Engenharia Química (2005) e Doutora em Engenharia de Processos (2009) pela UFCG.

LUCAS PAGLIONI PATARO FARIA

Possui graduação em Engenharia Mecânica (Ênfase em Mecatrônica) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2005), mestrado em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2007) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2013). Atualmente atua como professor do ensino superior nas seguintes instituições: Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix e Centro Universitário Newton. É responsável pelos Ensaio Térmicos do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Coletores Solares e Reservatórios Térmicos realizados pelo laboratório GREEN da PUC-MG. Atua também como pesquisador do Centro Universitário UNA em projetos vinculados à Eletrobrás e CEMIG. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em aproveitamento da Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: energia térmica solar, mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor e massa, otimização e modelagem matemática.

LUÍS GUILHERME MONTEIRO OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas (2002), Mestrado em Energia, na especialidade Sistemas Fotovoltaicos, pela Universidade de São Paulo - USP (2005) e Doutorado em Engenharia Elétrica, na especialidade Sistemas Fotovoltaicos, pela Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG (2016). Atuou como Pesquisador, no período de 2003 a 2005, no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF) do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE / USP), no Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Térmica (GREEN Solar), de Março de 1998 à Dezembro de 2002 e de Fevereiro de 2005 à Outubro 2009, e no Laboratório de Materiais Solares da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), de Março à Dezembro de 2011. Atualmente, é Professor Adjunto IV do Instituto Politécnico (IPUC) da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) e Professor do Curso de Pós-Graduação (Lato-Sensu) em "Fontes Renováveis de Energia: Geração, Operação e Integração", disciplina Sistemas Fotovoltaicos, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal de Minas (UFMG). Nesta mesma instituição, também atua como Pesquisador do Laboratório Tesla - Engenharia de Potência e Laboratório de Conversão e Controle da Energia (LCCE) do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da UFMG. Tem experiência na área de Energia, com ênfase em Energia Renováveis, atuando principalmente nos seguintes temas: Energia Solar Fotovoltaica (Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede Elétrica - Geração Distribuída / Geração em Grandes Centrais) e Energia Solar Térmica (Radiação Solar e Coletores Solares Planos).

LUIZ CARLOS NASCIMENTO LOPES

Técnico em Eletrotécnica, pela ETFPE (Escola Técnica Federal de Pernambuco) em 1990; Graduado em CIÊNCIAS COM HABILITAÇÃO EM MATEMÁTICA pela UPE (Universidade de Pernambuco) em 2005; Especialização em Fontes Alternativas de Energia, pela UFLA (Universidade Federal de Lavras) em 2008; Mestrado em Engenharia Elétrica pela UFC (Universidade Federal do Ceará) em 2011. Atualmente é professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (Sertão Pernambucano).

LUIZ HENRIQUE SOUZA DA ROCHA

Possui graduação em geografia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul(2009). Atualmente é Técnico da EMATER/RS-FEPAM-SEMA - Convênio. Tem experiência na área de Geografia. Atuando principalmente nos seguintes temas:ACV, Aquecedor solar, Análise de Ciclo de Vida.

MANUEL RANGEL BORGES NETO

Técnico em Eletrotécnica, possui graduação Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Especialização em Formas Alternativas de Energias Renováveis, Especialização em Administração Escolar, Especialização em Projetos e Licenciamento Ambiental, Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente é professor do Instituto Federal do Sertão Pernambucano. Líder do grupo de pesquisa Energia no Meio Rural, tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Educação profissional e Gestão Ambiental. São temas de interesse: eletrônica, automação industrial, fontes renováveis de energia, conservação de energia, planejamento energético, biogás, licenciamento ambiental, educação profissional, administração escolar.

MARCELO AUGUSTO AMANCIO

Formado em Engenharia Civil, pela Universidade Paulista (UNIP-Ribeirão Preto). Mestre em Engenharia Urbana, pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU-Ufscar), Doutor em Engenharia Civil, pela Faculdade de Engenharia Civil (FEC-Unicamp). Professor Titular no curso de Engenharia Civil da Universidade Paulista (UNIP - Campus Ribeirão Preto) e do Centro Universitário de Bebedouro (UNIFAFIBE), onde ministra disciplinas na área de Planejamento e Infraestrutura de Transportes. Líder do grupo de pesquisas GEMUR (Grupo de Estudos de Mobilidade Urbana) junto a Universidade Paulista (UNIP/CNPQ). Avaliador de cursos de graduação junto ao INEP/MEC.

MARIA INGRIDY LACERDA DINIZ

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB (2019). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (Atual). Membro ativo do Grupo de Pesquisa Curimataú Eficiente - CNPq/UEPB, com pesquisas na área de desenvolvimento de materiais/sistemas sustentáveis e recursos hídricos.

MAURINO GOMES COSTA

Graduado em Engenharia Mecânica pela PUC-MG, Mestre em Transferência de Calor e Processos Industriais - Desenvolvimento e Otimização de Processos Industriais pela USP / IPT. Pós-Graduação em Gerenciamento e Avaliação Ambiental, Pós-Graduação em Administração Industrial e Avaliação de Riscos Operacionais por meio do convênio entre USP e Fundação Vanzolini. Vasto portfólio com participação efetiva em mais de 350 projetos de Sistemas de Fluido Térmico Orgânico, com volume instalado superior a 5.000 m³. Paralelamente à engenharia, desenvolveu grande capacidade de comunicação e domínio da oratória, que lhe permitem ministrar palestras e cursos de diferentes temáticas ligadas à sua área de atuação. É CEO da OCP Engenharia e participa ativamente de todas as etapas do gerenciamento de projetos e do atendimento aos clientes.

OTHON LUCAS PROCÓPIO

Mestre em Engenharia da Energia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2016) e Engenheiro de Energia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2012). Atua no mercado de Energia Solar desde Julho de 2012, com experiência em vendas, projetos e instalações. Atualmente é Engenheiro de Aplicação da Solis Indústria e Comércio de Aquecedor Solar S/A e atua na implantação dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água para fins sanitários/piscinas e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Também exerce a função de gerente do setor de engenharia de aplicação, e ministra os cursos de capacitação técnica dos representantes e pontos de venda da Solis a nível Brasil.

PAULA ISABELLA DE OLIVEIRA ROCHA

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Possui experiência nas áreas de Engenharia de Pavimentos, Construção Civil e de Gestão Urbana e Desenvolvimento Urbano Sustentável. Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental na UFPB.

PAULO HENRIQUE FERNANDES ZANANDREA

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) graduado em 1991, com Mestrado em Engenharia Elétrica pela UFES (2000). Professor do IFES desde 1992. Tem experiência de trabalho de mais de 16 anos em grandes empresas do ramo industrial - foco em Engenharia Elétrica - com ênfase em Máquinas Elétricas, Dispositivos de Potência e Controladores Programáveis.

PAULO RENATO ALVES FIRMINO

Graduado em Estatística pela Universidade Federal de Pernambuco (2003), mestre (2004) e doutor (2009) em Engenharia de Produção pela mesma instituição. Tem experiência em Pesquisa Operacional, com ênfase em Modelagem, Simulação e Previsão, atuando principalmente na Análise Probabilística de Riscos. Desde 2014 é Professor de Estatística da Universidade Federal do Cariri (UFCA). É docente permanente dos Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável e Matemática, ambos da UFCA. É colaborador do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada da UFRPE.

PEDRO FELIPE ALVES DE OLIVEIRA

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Gurupi - UnirG e Técnico em Planejamento e Controle de Manutenção Industrial.

POLIANA BRAZ DE OLIVEIRA

Engenheira Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (2018). Pós-graduanda em Docência do Ensino Superior (2020) e Técnica em Edificações também pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (2013). Atua na área de Construção Civil, com destaque em acompanhamento de obras.

POLIANA SILVA

Possui graduação em Automação Industrial pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, é Especialista em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia Centec e Mestre em Energias Renováveis, pelo IFCE. Atualmente é professora no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano.

RAFAEL LUZ ESPINDOLA

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia da UFERSA-Campus Caraúbas, atua no curso de Engenharia Mecânica desde 2013. Graduado em engenharia mecânica pela UFPE, possui mestrado e doutorado também pela UFPE em engenharia mecânica, sendo o primeiro com ênfase em engenharia naval e oceânica e o segundo com ênfase em energia. Desenvolve pesquisas na área de energias renováveis, principalmente eólica e oceânicas.

RAFAEL MÁSSIMO MARTINS

Graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário UNA (2015). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Aproveitamento da Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: energia térmica solar, mecânica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor e massa, otimização e modelagem matemática.

RAIMUNDO PEREIRA DE VASCONCELOS

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas (1988), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1998) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2003). Atualmente é professor da Universidade Federal do Amazonas e Líder do Grupo de Pesquisas em Materiais de Engenharia. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas e Materiais, atuando principalmente nos seguintes temas: concreto, construção civil, com ênfase na utilização de resíduos sólidos proveniente da indústria e da construção civil, redução e controle de vibrações, materiais verdes e sistemas construtivos.

RICARDO MAIA COSTA

Possui graduação em AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará (2006). Especialização em Engenharia Elétrica Com Ênfase Em Sistema De Automação. Atualmente é professor do ensino básico, técnico e tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Industrial e Eletrônica.

RODRIGO ANDRADE DA SILVEIRA

Engenheiro eletricitista pelo Centro Universitário UNA (07/2017) e mestrando em engenharia elétrica pela UFMG (12/2020). Profissional especialista sistemas elétricos de potência (SEP) com foco em microrredes e redes ativas de baixa tensão atuando com métodos de conversão de energia com recurso primário solar e eólico com foco em geração distribuída com análise de eficiência energética e compensação de perdas de energia nos SEP por meio de metodologias para compensação de perdas de energia. Atua ainda com análise e projeto de coordenação de isolamento com foco na proteção de sistemas de energia frente a descargas atmosféricas e surtos de manobra.

ROSIANE DOS SANTOS

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe, Mestre em Biotecnologia de Recursos Naturais também pela Universidade Federal de Sergipe. Foi técnica nos laboratórios de Química da Universidade Federal de Sergipe - Campus Itabaiana (2008 - 2014). Atualmente é técnica no Laboratório de Operações Unitárias - Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe.

SANTHIAGU LUCAS PROCÓPIO

Possui graduação em Engenharia Mecânica (linha de formação em Mecatrôn pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais(2015) e ensino-medio-segundo-grau pela Escola Estadual Antônio Alticiano(2008).

SHELLA DA SILVA MELO FIGUEIRÊDO

Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável pela Universidade Federal do Cariri - UFCA (2019); Pós-Graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Integrada de Patos - FIP (2015); Graduada em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Regional do Cariri - URCA (2003); Coordenadora de Projetos para Captação de Recursos da APAE de Juazeiro do Norte-CE; Docente no Curso de Tecnologia em Segurança no Trabalho do Centro Universitário de Juazeiro do Norte - UNIJUAZEIRO; Docente na Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho do Centro Universitário de Patos - PÓSUNIFIP.

TARCÍSIO SOARES SIQUEIRA DANTAS

Pesquisador nível Pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas, na área de Reconstrução Molecular, realizado em parceria com a Petrobras. Revisor do periódico International Journal of Control. Trabalhou como professor de Engenharia Química no Instituto Federal do Sul de Minas Gerais e na Escola Superior de Administração Marketing e Comércio (ESAMC). Doutor e Mestre em Engenharia Química na Universidade Estadual de Campinas, com ênfase nas áreas de modelagem, simulação, otimização e controle de processos. Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Sergipe.

THAÍLA GOMES MOREIRA

Bacharela em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (2018) e tecnóloga em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (2014). Bacharelada em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tem experiência na área de Engenharia Biomédica, com ênfase em Biomateriais. Aluna de iniciação científica desde 2016, realizando pesquisa sobre biocerâmicas.

THALITA LORENE DOS SANTOS

Atualmente é graduanda da Escola de Ciências e Tecnologia da UFRN, atuou como bolsista REUNI de iniciação de pesquisa na UFRN atuou como monitora de laboratório de química do petróleo da UNP. Possui graduação em CST em Petróleo e Gás pela Universidade Potiguar (2011).

THAYS RIBEIRO FAVARO MIESSA RODRIGUES

Engenheira Civil, graduada pela Universidade Paulista - Unip Ribeirão Preto.

THELMA SLEY PACHECO CELLET

Possui Graduação em Química Bacharelado e Licenciatura pela Universidade Estadual de Maringá (2008), Mestrado em Química pela Universidade Estadual de Maringá (2011) e Doutorado em Química pela mesma Universidade (2015). Tem experiência nas áreas de Físico-Química e Química Inorgânica, com ênfase em Química de Nanomateriais. Opera equipamentos como microscópio eletrônico de varredura, microscópio eletrônico de transmissão, microscópio de forma atômica, difratômetro de raios X, espectrofotômetro de infravermelho, analisadores de tamanho de partículas por espalhamento dinâmico de luz e potencial zeta. Possui pós-doutorado na área de eletrocatalise (2015-2016), realizado em colaboração com o Professor Tewodros Asefa, da Universidade de Rutgers (New Jersey) e atualmente é Professora Adjunta (Colaboradora) de Química, na Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional de Goioerê.

THIAGO DA SÁ SENA

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, onde foi membro do Centro Acadêmico de Engenharia Civil ocupando a função de Secretário; membro colaborador do Grupo de Pesquisa CURIMATAÚ EFICIENTE, no qual realizava pesquisas nas áreas de recursos hídricos, desenvolvimento sustentável e controle tecnológico em obras. Também foi membro da diretoria executiva da Pilares Consultoria Júnior de Engenharia Civil na função de Assessor de Marketing.

VALDETE SANTOS DE ARAÚJO

Possui graduação em Engenharia Civil pela UFAM (1998), mestrado em Engenharia Urbana pela UFSCar (2002) e doutorado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (2010). Atuou como Coordenadora nos cursos de engenharia civil na Universidade Nilton Lins (2010/2011) e na Uninorte (2011/2012). Diretora de Relações Sociais do IBAPE/AM (2013/2015). Vice- presidente da AAEC (2017-2019). Professora adjunta na UEA e na Universidade Nilton Lins e Consultora no DEAMB/TCE. Tem experiência na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Planejamento de Transportes, atuando principalmente nos seguintes temas: acessibilidade, perícias, avaliações, sistemas construtivos, saneamento urbano e sustentabilidade.

VANESSA HAFEMANN FRAGAL

Possui graduação em Química Licenciatura e Bacharelado (2010), Mestrado (2013) e Doutorado (2017) pela Universidade Estadual de Maringá com período de doutorado sanduíche realizado no Department of Chemical and Biochemical Engineering - Rutgers University The State University of New Jersey- Estado Unidos. Foi bolsista de Pós-doutorado Júnior pelo CNPq, trabalhando com o desenvolvimento de um sistema pH-responsivo para o tratamento da doença de Parkinson. Atualmente é professora colaboradora na Universidade Estadual de Maringá. Possui conhecimentos nas áreas de: ensino da química, eletrocatalise, supercapacitores, scaffolds celulares, filmes nanoestruturados, o método breath figure, encapsulação de fármacos, hidrogel, polímeros e compósitos, drug delivery e liberação controlada.

VERA SOLANGE DE OLIVEIRA FARIAS

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (1978), mestrado em Engenharia Nuclear pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1983) e doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande(2011). Atualmente é professora TITULAR da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Geral. Na área de engenharia tem experiência em Fenômenos de Transporte Computacional, atuando principalmente no seguinte tema: difusão tridimensional de calor e massa em corpos com geometria arbitrária utilizando coordenadas generalizadas. Faz parte, como professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e do Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia.

VICENTE DE PAULA TEIXEIRA ROCHA

Engenheiro civil (cargo efetivo) da UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (UFCG), atuando principalmente na área de administração e fiscalização de obras de edificação, Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza (1988). Especialista em Gestão de Trânsito e Transportes Público, bem como em Segurança do trabalho. Mestre em Engenharia Agrícola da UFCG, na área de concentração em Construções rurais e ambiência(2016). Doutor em Engenharia Agrícola da UFCG, na área de concentração em Construções rurais e ambiência (2019).

WELLINGTON DA SILVA FONSECA

Possui graduação em Física pela Universidade Federal do Pará (2007) e Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (2010 e 2016, respectivamente). Atualmente é Professor do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará - ITEC/FEEB. É pesquisador do CEAMAZON - Centro de Excelência em Eficiência Energética da Amazônia. Tem experiência na área de Física, Engenharia Elétrica e Mecânica, Eletromagnetismo de Baixas Frequências, interações entre fenômenos Eletromagnéticos e Mecânicos, Materiais Elétricos, Energia, Método de Elementos Finitos.

ISBN: 978-65-86127-18-8

BR



9 786586 127188