

ENGENHARIA NO SÉCULO XXI

VOLUME 20



Editora Poisson

Editora Poisson

Engenharia no Século XXI

Volume 20

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2021

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 20/
Organização Editora Poisson – Belo
Horizonte – MG: Poisson, 2021

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-051-4

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação.I. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

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: A aprendizagem cooperativa como nova metodologia no estudo da engenharia 8

Jeferson da Silva dos Santos, Felipe Mallmann Centenaro, Angela Ester Mallmann Centenaro

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.01

Capítulo 2: Pense o problema fora da caixa, resolva-o dentro dela 15

Jovani Castelan, Gustavo dos Santos De Lucca

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.02

Capítulo 3: Análise da qualidade da água de abastecimento de Ibatiba-ES com base no cloro residual livre e cloro residual combinado 24

Diana Rodrigues Henriques Lemos, Fernanda Freitas Galote de Souza, Mateus Mendonça de Melo, Hugo Berttonceli Buqueroni, Laysa Gomes Osório, Juscelino Alves Henriques, Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho, Benvindo Sirtoli Gardiman Junior, Abiney Lemos Cardoso

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.03

Capítulo 4: Histórico das ações ambientais de uma Unidade de Conservação e Proteção: O caso do Parque Ecológico da Laguna da Jansen, São Luís – MA 30

Anna Gabriela Brasil Léda, Claudemir Gomes de Santana, Danielle Cristina dos Santos Lisboa, Lucas Nadler Rocha, Renata Medeiros Lobo Muller

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.04

Capítulo 5: Utilização de cinzas de lodo de efluentes industriais em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas 38

Luis Filipe Barros de Carvalho, Raimundo Pereira de Vasconcelos

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.05

Capítulo 6: Úlceras de pressão: Desenvolvimento de tecido tridimensional e avaliação do desempenho funcional -pressão e detecção de umidade 47

Alessandra Brandani Biggi, Viviane Oliveira Soares, Washington Luiz Félix Santos, Ana Maria Moreira Ferreira Rocha

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.06

Capítulo 7: Caracterização da microestrutura da ZTA do corte realizado por plasma, oxicorte e lixadeira em chapas de aço SAE 1045. 59

Gerieli Apolinário da Cunha, Gisélia Alves de Souza, Cristina de Carvalho Ares Elisei

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Os softwares de realidade virtual para o projeto de arquitetura: Uma análise comparativa..... 65

Mariana Alves Zancaneli, Icaro Chagas, Frederico Braida

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.08

Capítulo 9: Representação gráfica: Ensino de desenho geométrico com instrumentos e CAD na engenharia..... 74

Evandro Cardozo da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.09

Capítulo 10: Gestão da qualidade ISO 9001 e API Q1/API Q2 para indústria de Oil & Gas: Panorama mundial e nacional 83

Fabrcio Viana Andretti, Liliane Bello Paredes, Deborah Moraes Zouain

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.10

Capítulo 11: Proposta de aplicação de ferramentas da qualidade na gestão de segurança e saúde do trabalho em uma construtora 94

Eliane Souza de Oliveira Sarkiz, Patrícia da Silva de Souza, Alexandre Camacho da Paixão, Marcone Freitas dos Reis

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.11

Capítulo 12: Avaliação do crescimento e da composição da biomassa de *Chlorella vulgaris* cultivada com bicarbonato de sódio como fonte alternativa de carbono inorgânico.. 103

Guilherme de Oliveira Mendes Ohira, Marcelo Chuei Matsudo, João Carlos Monteiro de Carvalho

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.12

Capítulo 13: Produção de hidrogênio (Power to Gas) e suas aplicações na matriz energética..... 112

Hélio Nunes de Souza Filho, Ennio Peres da Silva, Ana Beatriz Barros Souza, Demostenes Barbosa da Silva, Vitor Feitosa Riedel, Juarez Corrêa Furtado Júnior, Diogo Oliveira Barbosa da Silva

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.13

Capítulo 14: Climatologia da irradiância solar global em Santa Maria, RS 119

Letícia Andressa Richter, Jivago Schumacher de Oliveira, Galileo Adeli Buriol

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.14

SUMÁRIO

Capítulo 15: Construção e testes de fogões solares com materiais recicláveis – Ensino de energia renovável baseado em aprendizagem ativa..... 125

Emerson Torres Aguiar Gomes, Élide Fernanda Xavier Júlio, Cluyverth William Albuquerque Pereira, William Robson do Nascimento Gouveia, João Paulo dos Santos Pereira, Felipe César Frazão Correia

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.15

Capítulo 16: Avaliação numérica da viabilidade de utilização de uma Chaminé Solar para dessalinização 134

Paulo Fonsêca Marinho Júnior, Janaína de Oliveira Castro Silva, Cristiana Brasil Maia

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.16

Capítulo 17: Sistema fotovoltaico de 10kWp conectado à rede com armazenamento de energia em Curitiba 146

Adriana Schilive de Souza, Juliana D'Angela Mariano, Jair Urbanetz Junior

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.17

Capítulo 18: Bancada de ensaios outdoor para aquecedores solares acoplados..... 156

Samuel Vinicius de Andrade Rocha, Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz, Fabio Rezende Costa, Lucas Paglioni Pataro Faria

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.18

Capítulo 19: Aplicação de técnicas de GLD em consumidor de BT: Tarifa branca e Geração Distribuída 168

Vitória Caroline Carvalho do Nascimento, Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra, Francisco José Sombra Júnior, Antonio Marcos Fernandes Filho

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.19

Capítulo 20: Planejamento para implantação de uma rede multiserviço baseado na tecnologia FTTH para provimento de banda larga no interior do Rio Grande do Norte 181

Luan Anderson Teixeira Lima, Gutemberg Soares da Silva, André Pedro Fernandes Neto, Fred Sizenando Rossiter Pinheiro

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.20

SUMÁRIO

Capítulo 21: Bastão de leitura de brinco eletrônico RFID 196

Alessandro André Mainardi de Oliveira, Guilherme Lamana Carvalho, Cássio Jhonatan Gamarra Olegário, Gustavo Garcia Pereira, Frederico Girardon Hartmann, Jefferson Marcon Frigo Junior

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.21

Capítulo 22: Aplicação de reconhecimento biométrico e controle de voz em automação 207

Diuliano Lixinski Flores, Rafael Ogayar Gomes, Jairo Henrique Wiethan, Guilherme Lamana Carvalho, Fernando Sarturi Prass, Alessandro André Mainardi de Oliveira

DOI: 10.36229/978-65-5866-051-4.CAP.22

Autores:..... 211

Capítulo 1

A aprendizagem cooperativa como nova metodologia no estudo da engenharia

Jeferson da Silva dos Santos

Felipe Mallmann Centenaro

Angela Ester Mallmann Centenaro

Resumo: A ausência de metodologias participativas e o uso de métodos de ensino tradicionais nas universidades fazem com que acadêmicos se ocupem cada vez mais com atividades individualistas e competitivas. Essas metodologias, que tem a competição como principal motor, reforçam a concorrência e o sentimento de baixa eficácia pelos que obtêm menos aproveitamento nos estudos, reforçando a exclusão dentro das Instituições de Ensino Superior. Dessa forma, a universidade tem se caracterizado como um ambiente que mais estimula a competição e o individualismo. As células de estudo cooperativo na Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT tem como principais objetivos oportunizar rendimento acadêmico satisfatório e aprovação em disciplinas da graduação, incentivar a interação positiva e construção de relacionamento entre os estudantes, incentivar a permanência do acadêmico na UNEMAT, capacitar de forma continuada estudantes para organizar Células de Aprendizagem Cooperativa, capacitar estudantes para trabalhar em equipe, desenvolver a empatia entre os acadêmicos e muitos outros. Desta maneira, o presente estudo tem como finalidade apresentar experiências, o funcionamento e metodologias usadas nas células de estudo cooperativo na UNEMAT no campus universitário de Sinop.

Palavras-Chave: Aprendizagem cooperativa; Grupos de estudo; Célula acadêmica.

1. INTRODUÇÃO

O estudo cooperativo pode ser um grande aliado quando se está em pauta o aproveitamento e assimilação de conhecimento. Em um ambiente universitário, em que as dificuldades são elevadas o uso deste método pode trazer inúmeros benefícios.

A Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, visando estimular o sentimento de pertencimento à Universidade, combater a repetência e evasão, o estudo e a criação de conhecimento em grupos, criou em 2013 o FOCCO – Programa de Formação de Células Cooperativas. O estímulo para criação de tal programa se baseia em experiências bem-sucedidas oriundas do PRECE, do interior do estado do Ceará, coordenadas pelo professor Dr. Manoel Andrade.

O PRECE é uma estratégia para potencializar a aprendizagem de adolescentes e jovens de comunidades do semiárido cearense, ao introduzir a cooperação e o protagonismo como recursos fundamentais para que os estudantes possam, em equipes, apoiar uns aos outros, complementando suas forças e potencialidades para alcançar objetivos individuais e comuns.

A Aprendizagem Cooperativa coloca o estudante como elemento central no processo pedagógico. Destacando a sua autonomia e sua capacidade de aprender e compartilhar o aprendizado com seus pares. Organizados em micro-associações estudantis, eles estudam em equipe e desenvolvem competências para solucionar desafios relacionados à aprendizagem, em suas comunidades e no dia a dia das instituições educacionais.

Este artigo tem por objetivo definir o estudo cooperativo, apresentar o FOCCO e suas raízes, além de mostrar como estão sendo desenvolvidas as atividades do FOCCO e os resultados obtidos no campus da UNEMAT em Sinop-MT.

Para tanto, o estudo em questão, está estruturado em três partes: A primeira trata especificamente das definições da Aprendizagem Cooperativa; a segunda versa sobre a criação do FOCCO na Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT e os propósitos de tal inserção; a terceira parte, é especificamente relacionada à experiências vivenciadas pelos bolsistas FOCCO do campus de Sinop-MT no período de 2017 a 2018. Nas considerações finais, ao mesmo tempo que retomam os objetivos do trabalho, tecem comentários sobre a relevância deste programa para o desenvolvimento do acadêmico como ser social, buscando desenvolver atividades relacionadas não somente à transmissão de conteúdo das disciplinas, mas também, ao desenvolvimento de habilidades cruciais na formação universitária, como a comunicação, cooperação, trabalho em equipe, pensar e avaliar coletivamente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. APRENDIZAGEM COOPERATIVA

Devido à grande quantidade de pessoas interagindo entre si com as suas diferenças em relação as suas habilidades de lidar com os desafios e se adaptar-se tornou um problema para os educadores em geral, encontrar uma maneira de otimizar e maximizar a aprendizagem de diversos alunos para que os mesmos sejam capazes de conviver em grupo aceitando o próximo, e ainda, manter relações interpessoais positivas. A aprendizagem cooperativa é sem dúvidas um grande aliado neste impasse. Segundo Firmiano: “A aprendizagem cooperativa é definida como um conjunto de técnicas de ensino em que os alunos trabalham em pequenos grupos e se ajudam mutuamente, discutindo a resolução de problemas facilitando a compreensão do conteúdo”. (2011, p.05)

O estudo e aprendizado cooperativo é um hábito que se dispõe de numerosas técnicas de organizar e conduzir as atividades em sala de aula. Consiste principalmente na ideia de pessoas com problemas em comum se unirem para que desta forma cada uma possa oferecer ao grupo o que de melhor lhe é cabível, para assim haver um cooperativismo mútuo e se obter um produto final acabado e com traços de cada um que participou para compila-lo. Esse trabalho em conjunto propicia aos estudantes criarem formas de interdependência, que os tornam responsáveis pelo sucesso de sua aprendizagem e também pela dos outros (VIEIRA, 2000).

FERREIRA; LOPES & PINHO (2013) ao parafrasearem BIDEGÁIN (1999) e MASET (2003) defendem que o estudo cooperativo se apoia em dois pilares fundamentais: o primeiro é a aprendizagem, que requer a participação direta e ativa de todos os estudantes, visto que nenhum deles pode aprender sem a ajuda do outro, e pressupõe a existência da interajuda; e a ajuda mútua e cooperativa, que possibilitam atingir níveis mais altos de aprendizagem, de melhor qualidade. Afirmam que se pode falar de aprendizagem cooperativa quando se organiza uma tarefa cuja condição necessária para realização é se, e somente se, houver cooperação de todos os elementos nela intervenientes.

2.2. O CONCEITO FOCCO NA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO - UNEMAT

O programa de Formação de Células Cooperativas - FOCCO inserido nos campi da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT foi inspirado em um programa da Universidade Federal do Ceará - UFC intitulado PRECE, segundo Dracoce, Engster e Milhomem:

[...] PRECE - Programa de Educação em Células Cooperativas - criado pelo Prof. Dr. Manoel Andrade, da Universidade Federal do Ceará - UFC, que a princípio atendia os moradores da comunidade Cipó, zona rural do município de Pentecostes, no sertão cearense. Posteriormente passou a atender aos acadêmicos da UFC com a oferta de bolsas com remuneração para universitários, que assumem o papel de articuladores ou facilitadores de células de aprendizagem dentro do seu Campus, com a constante busca pela melhoria do capital social da instituição. (2013, p.8).

Na UNEMAT, o projeto tem por objetivo a diminuição dos índices de reprovação, evasão e desistência entre os acadêmicos da instituição. A principal ação do programa é a criação de células de estudo cooperativo, com atividades em horários alternativos que não conflitam com os períodos de aula dos acadêmicos, possibilitando a aprendizagem e o desenvolvimento em atividades que estimulem o sentimento de pertencimento à Universidade, dessa forma, aumentando a frequência e o interesse em permanecer na instituição.

Com a ação dos estudantes de maneira cooperativa e proativa dentro de um grupo de estudos intitulado "célula" faz com que seja parcialmente dispensada a figura do docente, como pessoa principal para se obter conhecimento, pois os próprios acadêmicos podem discutir entre si e alcançar os resultados requeridos. Ao articulador cabe o papel de organizar os encontros, mediar as discussões e estimular os debates de maneira que a reunião da célula se torne ao máximo produtiva para todos os integrantes, sem deixar ninguém isolado, de modo que o conhecimento seja gerado pelo grupo e para o grupo. O facilitador, outro seguimento dentro do programa, tem o intuito de desenvolver atividades de apoio e monitoramento das Células de Aprendizagem Cooperativa; desenvolver atividades de interação entre os bolsistas do Programa; se dedicar a estudos sobre Aprendizagem Cooperativa para passar nas formações semanais com os articuladores; visitar as células de aprendizagem.

Visto conceito sobre estudo cooperativo, apresenta-se a seguir, relatos sobre as dificuldades, conquistas e desafios das iniciativas (células) realizadas por acadêmicos do campus de Sinop na Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT através de incentivo do programa de formação de células cooperativas de estudo - FOCCO.

2.3. O FOCCO EM SINOP: DA SELEÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DAS CÉLULAS

Mais que partilhar histórias, queremos compartilhar pouco de nossas vivências dentro da academia, estimulando o saber, a prática de novos conhecimentos, superando as dificuldades e alegrando-se juntos nas vitórias alcançadas.

Como despertar os acadêmicos para estudar juntos, criar vínculos e se encontrar semanalmente dispostos a produzir conhecimentos e melhorar suas notas? Isto lhe parece ser desafiador, não é? Acredite, para nós bolsistas do campus de Sinop não foi diferente, os desafios eram enormes, as incertezas também, mas inspirados pela essência do Projeto FOCCO e mergulhados na história deste projeto desde a sua criação ainda como PRECE na UFC, até os dias atuais nos encorajou a dar um passo adiante e a perceber que dentro da Universidade este projeto poderia render frutos, construir uma nova história e fazer acontecer.

Desde a etapa do processo seletivo, nós bolsistas da fase atual do FOCCO (2017-2018) estamos vivenciando a mística deste projeto, que é o saber em cooperação e através de nossas células, cada uma com suas particularidades vem, “fazendo acontecer” dentro do campus. As 06 (seis) experiências que aqui serão apresentadas, são repletas de verdades, de saberes e conhecimentos construídos a partir da nossa realidade, são pequenas ações que fizeram e até hoje fazem a diferença na vida de nós universitários, seja para entender o conteúdo ou mesmo melhorar suas relações interpessoais dentro da universidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A célula de estudos de Estrutura de Concreto Armado I e Sistemas Prediais Hidráulico-Sanitários e Gás tem como objetivo principal o compartilhamento de conhecimentos à cerca da execução de projetos por meios de softwares e manualmente.

Os participantes são alunos de Engenharia Civil que estão matriculados em ambas as disciplinas, os mesmos realizaram os projetos solicitados pelo professor da disciplina ao longo do semestre com o objetivo de se obter aprovação na disciplina e construir e compartilhar uma base de conhecimentos nos principais softwares utilizados por profissionais das áreas de Engenharia.

O trabalho e estudo em grupo, se tornaram mais fáceis e mais satisfatórios ao seguirmos os princípios do programa FOCCO, onde o principal objetivo do programa é o ensino cooperativo, sendo assim, cem por cento dos participantes da célula de Estruturas de Concreto Armado I e Sistemas Prediais Hidráulico-Sanitários e Gás conseguiram aprovação na disciplina.

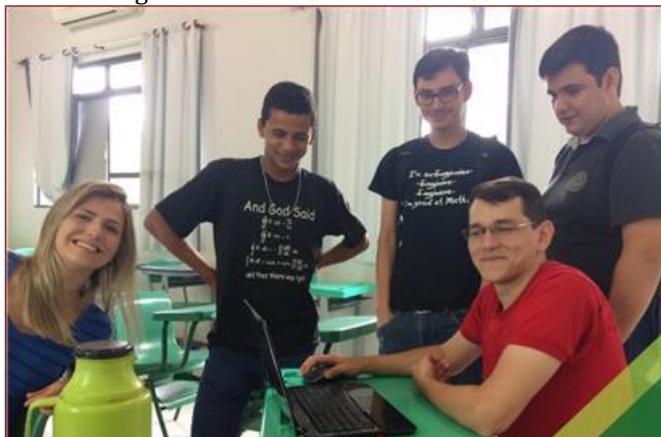
Figura 1. Reunião da célula de SPHSG e Concreto



A célula de TCC I era destinada principalmente à acadêmicos da UNEMAT e estava em atividade de agosto de 2017 a janeiro de 2018 com reuniões em quaisquer dias que os celulandos (nome dados aos participantes dos grupos de estudos, que não sejam os bolsistas) precisassem, com o objetivo de em grupo, favorecer e facilitar a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso I, disciplina que é o terror de muitas pessoas. Os encontros eram sempre para troca de informações e também para dar aquela praticada antes da apresentação para banca. Fazendo com que os estudantes não desanimassem, e prosseguissem o curso, rumo a conclusão, pois o objetivo principal do FOCCO é fazer com que os celulandos sintam-se mais à vontade com um objetivo em comum dentro do grupo de estudo cooperativo.

A célula de Controle está célula direcionada para o curso de Engenharia Elétrica, para estudantes da matéria ou alunos que já fizeram a mesma e pretendem aprimorar seus conhecimentos. O objetivo principal é que todos compartilhem seus conhecimentos sobre o assunto a ser estudado, para que desta maneira todos possam ter um desempenho melhor na disciplina. Os encontros podem ser usados também para auxiliar de forma em geral o acadêmico, para trocar ideias e tirar dúvidas e se for necessário podem ser ampliados conforme a necessidade dos celulandos. Além disso, o objetivo dos encontros é fazer amizades e incentivar uns aos outros a não desistirem da disciplina por falta do conhecimento de metodologias de estudo e aprendizagem que são usados nas células cooperativas.

Figura 2. Reunião da célula de Controle



A Célula de Inglês Básico - English For Fun é voltada para qualquer curso. Nesta célula, se busca atender as necessidades de pessoas de todos os cursos em um único objetivo de desenvolver o idioma de maneira efetiva, idioma que se apresenta como fundamental para o desenvolvimento da carreira acadêmica e profissional. Nos encontros são discutidos métodos de aprendizagem de um segundo idioma, além de ocorrer a interação que é um dos objetivos do FOCCO com acadêmicos não só das Engenharias Civil e Elétrica, mas sim de vários cursos, como ciências contábeis e econômicas e Letras. A célula se fortaleceu cada vez mais no câmpus, mostrando para os acadêmicos que é possível aprender outra língua estudando em grupo de uma forma organizada.

Figura 3. Reunião da célula de Inglês



A célula de Matemática Básica é voltada para os cursos do câmpus de Sinop que têm em sua grade matemática, incluindo assim as Engenharias Civil e Elétrica, Ciências Econômicas e Matemática. Aberta também para a população externa, ou seja, os não-discentes da UNEMAT que têm interesse em relembrar conceitos base da matemática. A ideia para a escolha do tema da célula surgiu após observar que a grande maioria dos acadêmicos ingressão na universidade com muita dificuldade nas matérias que contém cálculos, isso se dá devido a defasagem de ensino no período escolar. Após um ano da célula, é possível observar que os participantes têm desenvolvido autonomia em seus estudos, não só em matemática, como em outras matérias. A célula alcançou e ainda alcança muitos propósitos que se fazem pilares do Programa FOCCO, diminuiu a evasão dos cursos, a desistência das disciplinas e reprovações.

Figura 4. Reunião da célula de Matemática Básica



A Célula "Cooperativismo em Quadra", é uma célula da modalidade esportiva Handebol voltada a alunos de todos os cursos do campus da UNEMAT - Sinop com grande participação dos acadêmicos de Engenharia Civil e Engenharia Elétrica. Tem como objetivo a prática deste esporte sem competição e a criação de novos laços de amizade, onde uns ensinam os outros o que sabem sobre tal modalidade. Além de contribuir diretamente na qualidade de vida dos acadêmicos, uma vez, que vem crescendo de forma significativa o sedentarismo entre os jovens universitários e a falta do sentimento de pertencimento a universidade que se estuda, atingindo assim alguns dos propósitos do Programa FOCCO. Esporte e cooperação é uma combinação perfeita, onde respeito ao próximo e ajuda mútua em prol de um objetivo comum, se é praticado de forma divertida. As células são realizadas na quadra poliesportiva da escola municipal do bairro, com quem foi feita uma parceria, onde os celulandos se responsabilizaram pela preservação e limpeza da mesma.

Figura 5. Reunião da célula de esportes



4. CONCLUSÃO

Este estudo teve como principal motivação, apresentar, na visão dos articuladores, o estudo cooperativo dentro da Universidade do Estado de Mato Grosso especificamente no campus universitário de Sinop - MT. Tendo como foco o funcionamento das células distribuídas entre os cursos de, Engenharia Civil e Engenharia Elétrica, onde cada articulador definiu o funcionamento básico de sua célula e os resultados observados pelos mesmos utilizando-se de fatos que ocorreram durante o funcionamento das células, para dar amparo a essas análises, foram utilizadas bibliografias de estudo cooperativo.

Observou-se que o programa de formação de células cooperativas no referido campus, em geral, tem alcançado o seu sucesso e consolidação, a reciprocidade dos acadêmicos com o programa foi enorme ao observarmos que as células não tiveram uma grande evasão e que se fazem necessário ao estudo em grupo no cotidiano do universitário, os temas das células estão em seu ápice tendo em vista que a cada semana os mesmos acadêmicos estão presentes para se debater e discutir o assunto ou disciplina em foco de ambos os cursos, vemos que os resultados do bom funcionamento de algumas das células serão observados em um futuro mais próximo com a aplicação em disciplinas de outros semestres e que tem uma fundamentação teórica para pesquisa científica enorme, e que os bons frutos de outras células tem o seu resultado afirmando o bom funcionamento da célula após os exames das disciplinas que estão sendo estudadas como o tema da célula.

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT pela concessão de bolsa de ensino ao primeiro e segundo autores. À professora Angela Ester Mallmann Centenaro, que conduz o programa no Campus de Sinop há alguns anos com determinação e empatia aos acadêmicos e a todos os bolsistas e ex-bolsistas do Programa FOCCO - Campus Universitário de Sinop-MT.

REFERÊNCIAS

- [1] DRACOCE, Andersom Rafael; ENGSTER, Eder Cledinei; MILHOMEM, André Luiz Borges. Aprendizagem cooperativa: uma nova abordagem sobre a educação. Colíder, Vol. 2, nº2. 2013. Unemat Editora. GEOCOMP/ANAIS. ISSN:2318-3896.
- [2] FIRMIANO, E. P. Aprendizagem cooperativa na sala de aula. Disponível em: https://www.olimpiadadehistoria.com.br/vw/118b0SK4wNQ_MDA_b3dfd_/APOSTILA%20DE%20Aprendizagem%20Cooperativa%20-%20Autor-%20Ednaldo.pdf Acesso em: 11 set. 2016.
- [3] PRECE. <https://www.changemakers.com/pt-br/aprenderbrincando/entries/programa-de-educa%C3%A7%C3%A3o-em-c%C3%A9lulas-prece>. Acesso em: 11 set. 2016.
- [4] VIEIRA, P. N. B. Estratégias Alternativas de Ensino-Aprendizagem na Matemática: estudo empírico de uma intervenção com à aprendizagem cooperativa, no contexto do ensino profissional. 2000. 271 f. Dissertação (Mestre em Psicologia) – Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade do Porto.

Capítulo 2

Pense o problema fora da caixa, resolva-o dentro dela

Jovani Castelan

Gustavo dos Santos De Lucca

Resumo: Este documento apresenta o relato de um experimento prático educacional realizado na sala de Metodologias Ativas da Faculdade SATC, IES filantrópica sediada em Criciúma/SC. O objetivo foi fazer com que um pequeno grupo de pessoas sem ou com frágeis conhecimentos prévios na área de cálculo aprendessem a resolver um problema clássico da disciplina, envolvendo noções de limites e derivadas. O problema, realizado em duas etapas, era obter o maior recipiente possível a partir de uma superfície retangular planificada. Primeiramente foi abordado individualmente, de forma empírica, experimental, baseado apenas em percepções tácitas. Os resultados obtidos foram comparados entre si, gerando uma disputa pelo maior valor sem, no entanto, nenhum ter atingido o valor máximo. Na segunda etapa a resolução foi realizada em conjunto, com o auxílio do professor, agora de forma racional e analítica. Os novos resultados obtidos foram discutidos e as conclusões a respeito do conteúdo e suas aplicações foram apontadas pelos alunos. Ficou constatado, por meio dos depoimentos, que a aplicabilidade do conteúdo foi plenamente aprendida, ainda que sem a segurança cognitiva necessária para solucionar, de forma autônoma, soluções de maior complexidade.

Palavras-chave: Metodologias Ativas, Cálculo, Derivadas, Aplicações.

1. INTRODUÇÃO

Por meio de indicadores externos, como o PISA – *Programme for International Student Assessment*, é possível constatar que há deficiências importantes na Educação Básica Brasileira. O desempenho dos alunos brasileiros está abaixo da média entre os países membros da OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Em matemática, a média OCDE é 490 pontos, enquanto a média nacional é de 377 pontos (OCDE, 2015). Em consequência disto, os alunos chegam à universidade sem competências básicas necessárias, pelo fato de não estão acostumados a pensar criticamente e não saberem na verdade o significado e utilidade daquele conteúdo (GONÇALVES e REIS, 2011). Como resultado final temos os altos índices de reprovação (de até 60%) e evasão escolar (entre 20% e 30%), de acordo com Fragelli (2012).

Mesmo que as mudanças curriculares propostas pela BNCC – Base Nacional Curricular Comum mudem este panorama, ainda teremos durante alguns anos, o ingresso de muitos estudantes com o perfil abaixo da média da OCDE. Neste caso, formações complementares, projetos híbridos, integrando cursos pré-formativos em EaD ao ensino presencial e aplicações de novas metodologias de aprendizagem, como a ABP – Aprendizagem Baseada em Problemas serão necessárias para diminuir estes indicadores negativos.

Dessa forma, é exposto neste trabalho uma atividade para a disciplina de Cálculo 1, cujo conteúdo está relacionado à aplicação das Derivadas. Foi baseada nos fundamentos da ABP, a qual prescinde da abordagem tradicional conteudista e apresenta uma proposta participativa e significativa, que poderá servir de modelo tanto para ser utilizada como parte integrante da aula de Cálculo ou como um curso complementar à disciplina. A atividade proposta, na sua forma completa, também prevê a interação do Cálculo com a área de Expressão Gráfica.

2. INVESTIGAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS ANTERIORES

Por meio de entrevistas abertas realizadas com alunos dos cursos de Engenharia da Faculdade SATC, durante o primeiro semestre de 2018, a maior dificuldade de aprendizagem do Cálculo se dá pela dificuldade dos professores em demonstrar uma aplicação prática daquele recurso matemático – limites, integrais e derivadas. Por este motivo, o foco dos alunos, muitas vezes, é direcionado à aplicação de regras de derivação. E quando é necessária a utilização de algum conceito para o desenvolvimento de alguma atividade, os alunos normalmente apresentam dificuldades em sua realização, pois não estão acostumados a resolver situações em que seja necessária a utilização/aplicação destes conceitos (GONÇALVES e REIS, 2013). A partir desta conjuntura acadêmica, foi realizada uma investigação de publicações – monografias, dissertações, artigos e livros (GONÇALVES e REIS, 2011), (WEIR, 2009), – que pudessem auxiliar os professores a desenvolver aulas de Cálculo contemplando, além do método de resolução, aplicações práticas que dariam perenidade e significado à aprendizagem.

Weir (2009), disponível na Biblioteca Virtual *Pearson*, para professores e alunos da Faculdade SATC, apresenta numerosos exemplos de aplicações dos conteúdos fundamentais do Cálculo I (Funções, Limites, Derivadas, Integrais). É dado destaque às aplicações das derivadas, pois o foi o conteúdo abordado no experimento educacional posteriormente relatado.

O livro *Calculus and Its Applications*, de Bittinger (2012) apresenta exemplos completos de aplicações práticas do assunto.

Apesar da existência de números exemplos e referências disponíveis em repositórios de teses e dissertações, bibliotecas físicas e virtuais e na Internet de uma forma geral, os professores justificam-se pela não utilização destes exemplos pela falta de tempo em relação ao volume de conteúdos a serem vistos ou pela in experiência vivencial-profissional na área de engenharia. Por outro lado, aqueles que chegam a propor estes exercícios, os aplicam de forma tradicional, não contemplando a utilização de métodos mais empáticos, contextualizados e com recursos tecnológicos (vídeos, imagens, softwares de simulação ou apps).

3. A ABP – APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

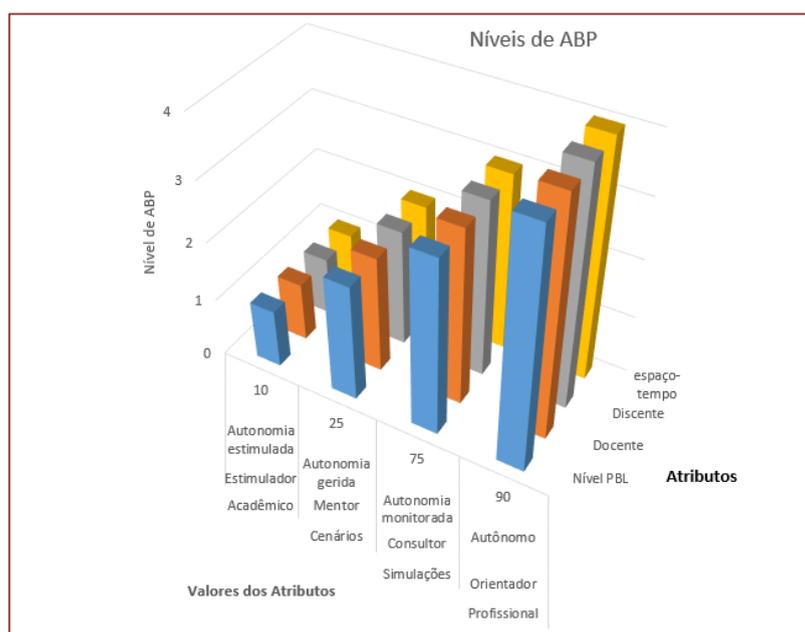
A ABP – Aprendizagem Baseada em Problemas (referenciada em inglês como PBL – Problem Based-Learning) é uma das principais metodologias que compõe o grupo das *Metodologias Ativas de Aprendizagem* – no qual o foco está na construção da aprendizagem por meio da interação e utilização prática dos conteúdos, substituindo momentos expositivos pelo trabalho colaborativo e busca autônoma de conteúdos. A ABP proporciona aos estudantes a oportunidade de serem ativos e responsáveis por seus conhecimentos, durante todo o processo de aprendizagem e tenta garantir que a realidade seja confrontada, por meio da proposição de problemas reais, rompendo com os modelos tradicionais de ensino (GOUVEA e FONSECA, 2017).

Estes problemas devem ser elaborados considerando características importantes: conter múltiplas possibilidades de solução; exigir um conjunto de informações para compreender o problema proposto; proporcionar clareza dos objetivos e das metas; promover interesses gerais e controvérsias entre os participantes; ser aberto e gradativamente complexo; conter conteúdos que são autênticos para a disciplina (SOUZA, 2016).

A ABP encontra na engenharia boas condições de aplicação, já que sua metodologia de trabalho se aproxima de situações e necessidades reais do mundo profissional. Entretanto, ainda encontra muita resistência dos professores da área, por apresentar processos disruptivos de aprendizagem, onde o conteúdo não é adquirido antes da proposição do problema mas sim concomitante a este. Há muitas variações da ABP, inclusive se mesclando a outras metodologias, destacando-se a Sala de Aula Invertida (comumente localizada no *Google* como *Flipped Classroom*), na qual as explicações e conteúdos são vistos pelos alunos (geralmente por meio de vídeo-aulas) antes do encontro presencial, ou seja, antes da aula propriamente dita. Estando no momento da aula, o tempo é utilizado para resolver um problema proposto pelo professor ou então para resolução de exercícios com monitoramento estatístico em tempo real dos indicadores de acertos dos alunos.

Na Faculdade SATC, foi desenvolvido um modelo de ABP, publicado como capítulo de livro em *Advances in Intelligent Systems and Computing* (CASTELAN e BARD, 2018). Neste modelo, a inclusão desta metodologia no plano de ensino das disciplinas se dá em quatro etapas progressivas: Nível 1 – básico, Níveis 2 e 3 – intermediário e Nível 4 – Avançado. A Figura 1 mostra outras características destes níveis.

Figura 1 – Etapas de aplicação da ABP nas disciplinas dos cursos de Engenharia.



Cada conjunto de barras coloridas de mesma altura representa um nível, indo do 1 (colunas mais baixas) até o 4 (colunas mais altas). As colunas azuis descrevem o Atributo “Nível PBL” com seus respectivos valores (Acadêmico, Cenários, Simulações, Profissional). As colunas laranjas descrevem o atributo “Docente” – qual é definida a postura do professor perante os alunos (Estimulador, Mentor, Consultor, Orientador). As colunas amarelas descrevem onde (Espaço) e quando (Tempo) a atividade acontece, com seus valores (10, 25, 75 e 90) representando o percentual da carga horária da disciplina utilizada para o desenvolvimento de

atividades de aprendizagem utilizando a ABP. Dessa forma, uma disciplina de 60 horas, no nível 1, irá utilizar 10%, ou seja, 3 horas – equivalente a um encontro semanal – em ABPs; No nível 4, 90% significará que as ABPs irão consumir 54 horas da disciplina, ou seja, exposição mínima de conteúdos e maximização de proposição de problemas, além de utilizar outros espaços além da sala de aula (laboratórios, visitas técnicas e chão de fábrica) para sua resolução.

4. RESOLVENDO A CAIXA

A partir deste ponto é descrito o experimento educacional em formato de aula, realizado em 29 de março de 2018, na sala de Metodologias Ativas da Faculdade SATC. O conteúdo da aula foi desenvolvido a partir de duas fontes: Weir (2009), pág. 303, item 4.5 exercício 1 (Otimização Aplicada – Confeção da Caixa) e o canal do Youtube Ensino e Informação, apresentado por Araldi (2018).

O objetivo da aula foi o de fazer com que os alunos aprendessem conceitos básicos de derivada e entendessem sua importância, por meio da resolução de um problema. O grupo de alunos, composto por quatro integrantes, foi propositalmente formado por um perfil eclético: um desenvolvedor de sistemas de TI, uma pedagoga, uma bacharel em Direito e uma policial civil. À exceção do desenvolvedor TI, que cursou a disciplina de cálculo na sua graduação, nenhum dos outros membros tivera contato com a matemática, a não ser no ensino médio. No primeiro instante da aula, após as apresentações o professor apresentou o problema:

“Você é o responsável pelo setor produtivo de uma empresa de embalagens. Um cliente que dispõe de um estoque de folhas de papelão de 120cm x120cm solicitou o projeto de uma embalagem fabricada a partir destas folhas, sem tampa, que forneça o maior volume possível, para o armazenamento de produtos alimentícios a granel (grãos). O desafio, portanto, é criar um protótipo que forneça o maior volume possível de armazenamento, a partir de uma superfície planificada.”

A proposição de resolução consistia, portanto, em criar um protótipo em escala reduzida. Foram propostas duas abordagens de resolução. A primeira abordagem era empírica, se baseando apenas em percepções e processos de tentativa e erro – *o pensar fora da caixa*. A segunda envolvia o conteúdo propriamente dito (Derivadas) – *o resolver dentro dela*.

4.1. RESOLUÇÃO EMPÍRICA

Foram distribuídas folhas comuns de papel branco, recortadas em quadrados de 12cm. O Professor questionou qual a relação que existia entre o tamanho proposto do objeto real (folhas quadradas de papelão com 120cm de lado) e a folha sulfite de 12cm de lado. Não houve dificuldades para a compreensão da escala de redução de 1:10. Em seguida, utilizando materiais de desenho e tesoura, cada um foi desenhando e recortando o que seria a superfície planificada da caixa para então fazer as dobraduras e por fim montando a caixa. Após uma rápida explanação sobre a relação entre área e volume, cada membro calculou o de sua caixa, utilizando a fórmula:

$$V = L^2 \times H \quad (1)$$

Onde “

V” é o volume, “

L” o lado da figura e

“H” a altura da caixa.

Seguem os valores obtidos na Tabela 1

Tabela 1 – Volumes obtidos empiricamente (cm³)

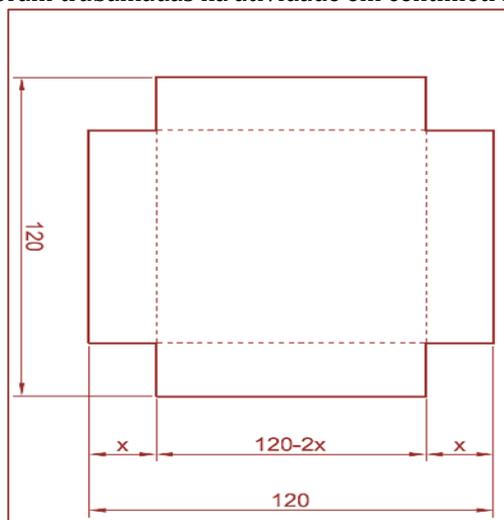
Gustavo	100,35
Rose	125,25
Daniela	68,79
Ana Paula	108,00

Foi levantado a seguinte asserção: “foram obtidos diferentes valores de volume, menores e maiores entre si. Entretanto, não há certeza de que o maior valor obtido seja o máximo possível.” Resgatando o objetivo do problema, que era o de obter o **máximo**, foi do entendimento de todos que apenas o processo empírico não daria condições suficientes para solucionar o problema por completo. Sendo assim, iniciou-se a segunda etapa.

4.2. RESOLUÇÃO ANALÍTICA

A resolução analítica iniciou-se com o desenho planificado da caixa, ilustrado na Figura 2:

Figura 2 – Desenho técnico da planificação da caixa. As dimensões no desenho estão em milímetros (mm), mas foram trabalhadas na atividade em centímetros (cm).



A partir da Equação (1), foi escrita no quadro branco da sala a fórmula:

$$V(x) = S \cdot x \quad (2)$$

Onde “V” é volume, que varia de acordo com (x) que, ao invés de H, representa a altura da caixa; “S” (ao invés de L²) agora representa a área. Com o protótipo empírico nas mãos, todos puderam compreender que “x” e “H” representam a mesma coisa, ou seja, a altura da caixa quando planificada.

Para uma noção prévia dos valores extremos que x pode assumir, foi observado que o valor de x teria que ser: primeiro, maior do que 0 (zero), pois do contrário a caixa não teria paredes a dobrar e, portanto, não faria uma caixa; segundo, o valor de x teria que ser menor do que 6 (seis) porque igualando-se a 6 (metade do valor do lado da caixa) a caixa não teria fundo, ou seja, não teria área e conseqüentemente não teria nenhum volume.

Assim:

$$0 < x < 6 \quad (3)$$

Partiu-se então, para o desenvolvimento da equação, utilizando conceitos do ensino médio:

$$V(x) = (12 - 2x)^2 \cdot x \quad (4)$$

$$V(x) = -4x^3 - 48x^2 + 144x \quad (5)$$

A percepção de que a equação (5) não era de 2º. Grau era óbvia. Então, aplicou-se à equação (5) a primeira derivação para polinômios:

$$V'(x) = 12x^2 - 96x + 144 \quad (6)$$

Importante notar que as regras de derivação para polinômios (além das demais para exponenciais, produtos e quocientes) não foram fundamentadas nesta atividade. Foi realizada uma breve explicação sobre o caso específico e seu processo de derivação, o que permitiria ao grupo, no mínimo, a solucionar problemas semelhantes e de maior complexidade, como por exemplo, a utilização de outras formas prismáticas com bases poligonais diferentes (pentágonos, hexágonos, círculos ou ainda polígonos irregulares). O grupo foi provocado em relação à lembrança do ensino médio em relação às equações de 2º. Grau e fórmula de Báscara. Nem todos lembravam com exatidão da fórmula, mas uma consulta rápida no *Google* a forneceu:

$$x = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (7)$$

Onde foram obtidos os valores:

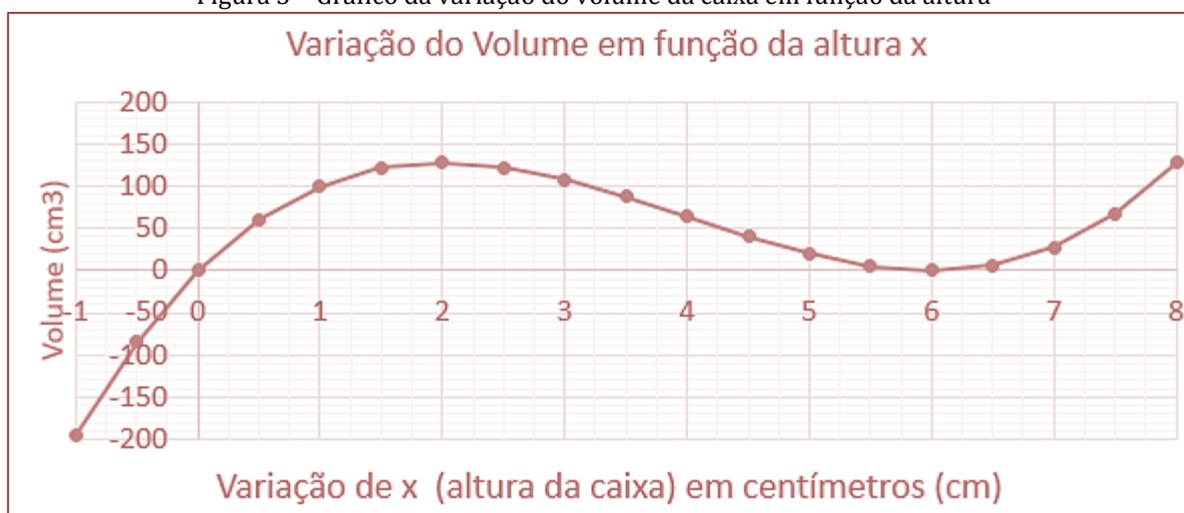
$$x' = 2 \quad e \quad x'' = 6$$

Como já havia sido observado anteriormente, o valor 6 era inviável. Assim, assumiu-se o valor de 2 para x, como sendo a medida da altura da caixa que proporcionaria o maior volume possível para a superfície de 12cm x 12cm. Dessa forma o volume máximo foi:

$$V_{max} = (L - 2 \cdot x)^2 \cdot x = (12 - 2 \cdot 2)^2 \cdot 2 = 128 \text{cm}^3 \quad (8)$$

A próxima etapa envolveu uma atividade em Excel, com a montagem de um gráfico (Figura 3) que mostra a variação do volume em função de x . Foi montada uma tabela onde a primeira coluna (A1) traz a fórmula da área inserida na equação (4) em função de x $(12-2x)^2$; a segunda coluna a variação de x (A2), indo de -1 a 8; a terceira coluna igual a A1 x A2 (Volume).

Figura 3 – Gráfico da variação do volume da caixa em função da altura



A plotagem de valores de x que extrapolam os limites informados na Equação (3) serviu para que os alunos pudessem perceber que, com os valores menores que 0 (zero) e acima de 6 não é possível construir um protótipo, ou seja, não são viáveis fisicamente. Se não tivéssemos a noção de Limites, valores de volume seriam continua e infinitamente alcançados, com o incremento da altura da caixa (x).

5. CONCLUSÕES

Por se tratar de uma atividade feita com um grupo pequeno e não pertencente à um curso formal (uma turma regular), não foi realizado um processo de avaliação quantitativa-somativa (prova) ou qualitativa-diagnóstica (quizzes, formulários e análise estatística de desempenho), que identificasse objetivamente o nível de aprendizagem. Entretanto, ficou constatado, por meio dos depoimentos, que a aplicabilidade do conteúdo foi plenamente apreendida, ainda que sem a segurança cognitiva necessária para solucionar, de forma autônoma, soluções de maior complexidade, como por exemplo trabalhar com outras formas geométricas além do quadrado.

A proposta inicial, onde o produto final foi um protótipo físico, montado por cada membro foi um motivador importante, a partir do ponto em que tivemos formas e tamanhos diferentes, o que causou um ambiente sadio de disputa para avaliar quem, de fato, teria a caixa com maior volume. Percepções visuais foram vencidas após os volumes serem calculados, demonstrando a utilidade do método matemático.

Foi entendido pelo grupo, de forma plena e integral, o objetivo (construir uma caixa), a meta (com o maior volume possível) da atividade e a relação com custos de produção (maior caixa com menor área).

A formação de um grupo eclético, sem ou com frágeis conhecimentos prévios na área de cálculo é justificada pela aproximação ao perfil médio das turmas regulares de Cálculo 1, onde o argumento mais forte dos professores para não se disporem a tentar métodos diferentes de aprendizagem é baseado justamente nesta fragilidade. Forma-se, então, um paradoxo de aprendizagem, onde os professores se preocupam em ensinar e concluir o conteúdo, sem, no entanto, fazer com que os alunos, de fato, aprendam e percebam a utilidade deste conteúdo.

A avaliação da eficiência desta atividade, que priorizou, a todo instante, o resgate do objetivo (*para que estamos calculando isto mesmo?*) em detrimento da descrição analítica do processo, pôde ser verificada cerca de 30 dias após o evento, quando foram feitos alguns questionamentos abertos:

Pergunta 1: Você saberia dizer pelo menos uma aplicação das derivadas na disciplina de Cálculo 1?

Resposta padrão: *para construir uma caixa.*

Pergunta 2: Se lhe fosse dado uma folha de papel com medidas diferentes e com o mesmo objetivo e meta, você seria capaz de construir outra caixa sozinho?

Resposta padrão: *talvez sim, desde que pudesse ter acesso às anotações do processo anterior.*

Finalizando as conclusões com o resgate do título do trabalho, a metodologia propõe que, dentro da metodologia ABP, na primeira etapa de resolução do problema, seja dado espaço aos alunos para elaborar soluções não cientificamente fundamentadas, de forma livre, livre de críticas e preconceitos, baseadas em percepções instintivas, pragmáticas e emocionais. É uma forma de motivação e incentivo à criatividade – é o *pense fora da caixa*. Na segunda etapa, após o momento inicial motivador e de possibilidades abertas, incompletas e múltiplas, onde acontece uma avaliação prévia das soluções iniciais, são mobilizados os insumos inerentes à disciplina para aprimorar, detalhar, selecionar e validar a solução escolhida – é o *resolva-o dentro dela*.

6. CONTINUIDADE DO PROJETO

Esta atividade compõe na verdade um projeto maior, que engloba sua execução em turmas regulares de Cálculo 1 com o desenvolvimento de outros conteúdos e processos de aprendizagem de Cálculo, além da integração com outras disciplinas. A etapa subsequente a esta seria a de desenvolver a aprendizagem de processos de planificação, escalas de redução, unidades de medida, vistas ortogonais e confecção de sólidos geométricos nos nas disciplinas de Desenho Técnico e CAD, utilizando o Laboratório de Prototipagem “Pronto 3D”, que conta com máquinas de corte a laser, fresadora Router e impressoras 3D. Em relação aos conteúdos de cálculo, outra atividade proposta que está sendo desenvolvida está relacionada à Taxa de Variação com Derivações e Equações Diferenciais, aplicadas ao cálculo do tempo de enchimento ou esvaziamento de um tanque alimentador em formato cônico.

AGRADECIMENTOS

Aos participantes não co-autores do trabalho: colaboradora Ana Paula Tomasi e Daniela Naspolini.

REFERÊNCIAS

- [1] ARALDI, Altamir. Aplicações da Derivada - Exemplo 2. Revista Ensino e Informação. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=7s9GE-aevGI>. Acesso em: 08 Mar 2018.
- [2] BITTINGER, Marvin L.; ELLENBOGEN, David J.; SURGENT, Scott A. Calculus and its applications. 10a. ed. Pearson Education, 2012.
- [3] CASTELAN, Jovani; BARD, Rosemere D. Using PBL and Rapid Prototyping Resources to Improve Learning Process.. 716ed.: Advances in Intelligent Systems and Computing Springer International Publishing, 2018, v. , p. 124-132.
- [4] FRAGELLI, Ricardo R. *et al.* Summaê: Um Método Diferente para o Ensino de Integrais. In: International Symposium on Project Approaches in Engineering Education. 2012[?]. Anais, São Paulo, 2012.
- [5] GONÇALVES, Daniele Cristina; REIS, Frederico da Silva. Aplicações das derivadas no cálculo 1: Uma atividade investigativa aplicada à Engenharia de produção utilizando o Geogebra. Revista da Educação Matemática da UFOP, Vol I, 2011 - XI Semana da Matemática e III Semana da Estatística, 2011
- [6] GONÇALVES, Daniele Cristina; REIS, Frederico da Silva. Atividades investigativas de aplicações das derivadas utilizando o GeoGebra. Bolema, Rio Claro/SP, v. 27, n. 46, p. 417-432, ago. 2013
- [7] GOUVEA, Gisele de; FONSECA, Rogério Ferreira da. Reflexões acerca do uso da aprendizagem baseada em problemas no ensino de conceitos matemáticos. Trilhas Pedagógicas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo/SP, v. 7, n. 7, p. 123-144, Ago. 2017.

- [8] OCDE. Pisa – Programme for International Student Assessment. Results form PISA 2015. Disponível em http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2015/pisa_2015_brazil_prt.pdf . Acesso em: 14 Mar 2018.
- [9] SOUZA, Débora Vieira de. O Ensino de Noções de Cálculo Diferencial e Integral por meio da Aprendizagem Baseada em Problemas. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2016.
- [10] WEIR, Maurice D.; HASS, Joel; GIORDANO, Frank R. Cálculo (George B. Thomas Jr.), Vol 1. Trad. Thelma Guimarães e Leila Maria Vasconcellos Figueiredo; Rev. Técnica de Cláudio Hirofume Asano. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

Capítulo 3

Análise da qualidade da água de abastecimento de Ibatiba-ES com base no cloro residual livre e cloro residual combinado

Diana Rodrigues Henriques Lemos

Fernanda Freitas Galote de Souza

Mateus Mendonça de Melo

Hugo Bertonceli Buqueroni

Laysa Gomes Osório

Juscelino Alves Henriques

Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho

Benvindo Sirtoli Gardiman Junior

Abiney Lemos Cardoso

Resumo: O presente trabalho tem por objetivo realizar o monitoramento da qualidade da água de abastecimento de Ibatiba-ES, levando em consideração os indicadores: sentinela cloro residual livre e auxiliar cloro residual combinado. A água é um componente essencial ao ser humano; quando contaminada, influencia a saúde e a qualidade de vida da população, visto que várias doenças estão associadas a ela. Os pontos de coleta das amostras foram definidos levando-se em consideração as recomendações preconizadas na publicação do Ministério da Saúde “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano”. Os métodos de análise laboratorial foram os recomendados por APHA, AWWA, WPCF (2012). Para o cloro residual livre pode se observar na análise global que o teor nos pontos de consumo, é em média $1,5 \pm 0,1$ mg/L e para cloro residual combinado $1,1 \pm 0,1$. Os estudos dos parâmetros de cloro residual livre e combinado da água de Ibatiba-ES, mostraram que a água é potável e os parâmetros estão dentro dos estabelecidos na Portaria Consolidação nº5/2017.

Palavras-chave: Tratamento de água, qualidade da água, indicadores de qualidade de água.

1. INTRODUÇÃO

A água é um componente essencial ao ser humano; quando contaminada, influencia a saúde e a qualidade de vida da população, visto que várias doenças estão associadas à água.

Segundo o Instituto Trata Brasil, o estado do Espírito Santo possui índice de atendimento total de água tratada de 82,10% e apenas 51,01 % dos domicílios do estado contam com coletas de esgoto. Onde 36,59% do esgoto é tratado em relação a água consumida, outro fenômeno que ajuda no abastecimento de água à população é quanto à manutenção das redes existentes que diminui desperdícios com água tratada que chega à torneira do consumidor em torno 36,28% (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015).

A Diretriz Nacional estabelece como “indicadores sentinelas” os parâmetros cloro residual livre e turbidez (BRASIL, 2006). Tendo em vista a relação com a desinfecção da água, podem-se ter como indicadores auxiliares os parâmetros cloro residual combinado e pH.

O tratamento de água é um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados na água para que esta fique em condições adequadas para o consumo. O processo de tratamento de água a livra de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças. Numa estação de tratamento de água convencional, o processo ocorre em etapas: Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Fluoretação e Correção de pH.

O controle da qualidade da água para o atendimento ao Padrão de Potabilidade é de responsabilidade das companhias de saneamento, já a vigilância é de responsabilidade do serviço de saúde. Não obstante, na grande maioria dos municípios brasileiros, os serviços de saúde não possuem uma estrutura mínima necessária para a realização da atividade supracitada, sendo necessária a atuação de pesquisadores e entidades públicas de ensino, pesquisa e extensão.

O presente trabalho tem por objetivo o monitoramento da qualidade da água de abastecimento de Ibatiba-ES, levando em consideração os indicadores: sentinela cloro residual livre e auxiliar cloro residual combinado, gerando informações de relevante importância aos gestores públicos e a empresa responsável pelo serviço público de abastecimento de água neste município.

2. METODOLOGIA

Ibatiba é um município brasileiro, do estado do Espírito Santo, situado na mesorregião Sul Espírito-Santense. Foi fundado em 7 de novembro de 1981 e atualmente, conta com uma população de 22.366 habitantes, com 241,10 km² de área territorial (IBGE, 2010). Geograficamente o município de Ibatiba encontra-se em Latitude: 20°14'02"S, Longitude: 41°30'38" W e Altitude de 740 m. É composta por uma estação de tratamento convencional de água e utiliza cloro gasoso no tratamento.

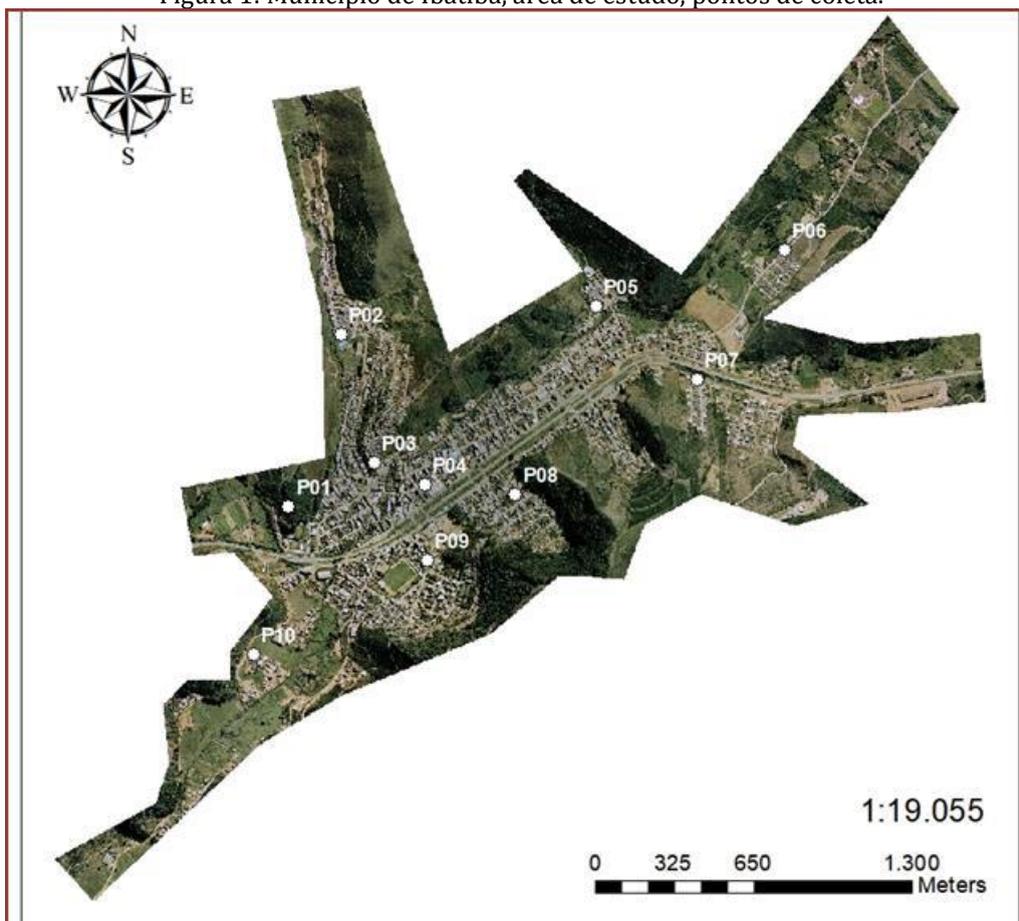
A definição dos pontos de coleta foi realizada mediante levantamento de informações prévias das áreas de influência de cada um destes. Para a realização desta etapa, os alunos fizeram todo o reconhecimento da área, também utilizaram de informações repassadas pela empresa responsável para distribuição de água da cidade, (Figura 01).

As coletas das amostras foram feitas manualmente em cada ponto, após uma descarga de dois a três minutos, e o líquido mantido em frascos de garrafa pet isoladas não permitindo a passagem de luz e foram realizadas no período de 27 de outubro de 2017 até 27 de junho de 2018.

Os indicadores sentinela Cloro residual livre (CRL) e o auxiliar cloro residual combinado (CRC), foram determinados utilizando os métodos de análise laboratorial recomendados pelo Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2012). Na determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. As espécies de cloro residual foram determinadas por titulação com sulfato ferroso amoniacal (SFA) utilizando-se o sulfato de N,N - dietil - p - fenilenediamina (DPD) como indicador. O cloro livre reagiu instantaneamente com DPD, na ausência de íons iodeto, com produção de coloração vermelha. À mistura remanescente do teste de CRL é adicionada, primeiramente, uma pequena porção de cristais de iodeto de potássio (KI), seguida de titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, para a determinação de monocloramina.

Na sequência, foi adicionada uma porção maior de cristais de KI e procedida a titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para a determinação de dicloramina. Tricloramina foi determinada por titulação com solução padrão de SFA na presença de DPD e KI, numa alíquota de amostra tomada à parte. O cloro livre foi imobilizado com glicina (ácido aminoacético) permitindo a determinação de frações interferentes de bromo e iodo sendo este valor usado para subtrair do resultado de uma prova na qual o cloro livre não tenha sido imobilizado (APHA, WWA, WPCF, 2012).

Figura 1: Município de Ibatiba, área de estudo, pontos de coleta.



LEGENDA

- P01: Estação de Tratamento de Água de Ibatiba (ETA) - CESAN**
- P02: Casa - Rua Aristides Teodoro Almeida, nº 92, bairro Ipê**
- P03: Igreja Matriz - Rua 18 de Outubro, bairro São José**
- P04: Unidade Regional de Ibatiba (AMA), Avenida Afonso Cláudio, nº 94, bairro Centro**
- P05: Casa - Rua Alaércio Lopes Campos, bairro Pró-Morar I**
- P06: Cemitério Lacerda - Rua Cecília de Freitas, bairro Pró-Morar II**
- P07: Capotaria Gomes - Rua Sete de Novembro, bairro Vila Nova**
- P08: Estação Elevatória Brasil Novo - Rua do Rosário, bairro Brasil Novo**
- P09: Escola Municipal Helena Amocdice Valadão - Rua Orly Barros, bairro Novo Horizonte**
- P10: Casa - Olímpio da Silveira, nº 18, bairro Chácara do Alvarino**

Técnico Responsável: Laysa Gomes Osório
 Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM
 Sistema de Coordenadas South American Datum SIRGAS-2000
 Zona UTM 24K

Fonte: adaptado, I3GEO, 2018.

3. RESULTADOS

Após as amostragens semanais, os dados de concentração de cloro residual livre e cloro residual combinado, foram determinados e os resultados estão apresentados de forma resumida, na Tabelas 1 onde temos número de amostras, as médias, desvios padrão, e valores mínimos e máximos por ponto monitorado.

Tabela 1: Resumo dos dados coletados da concentração de cloro residual livre (CRL), cloro residual combinado (CRC).

Analises	Pontos	Nº de amostras	Media	Desv Pad	Mín	Máx
CRL (mgCl ₂ /L)	P1	21	1,8	0,4	1,2	2,4
	P2	21	1,5	0,5	0,5	2,2
	P3	21	1,1	0,5	0,2	1,8
	P4	21	1,6	0,4	0,7	2,1
	P5	21	1,2	0,7	0,0	2,4
	P6	22	1,4	0,4	0,5	2,2
	P7	22	1,6	0,4	1,0	3,0
	P8	22	1,8	0,6	1,1	3,5
	P9	22	1,6	0,5	1,0	3,1
	P10	22	1,8	0,5	1,3	3,5
	Global		1,5	0,1	0,0	3,5
CRC (mgCl ₂ /L)	P1	21	1,2	0,5	0,6	2,5
	P2	21	1,1	0,8	0,3	3,3
	P3	21	1,0	0,3	0,5	1,9
	P4	21	1,2	0,5	0,5	2,5
	P5	21	1,0	0,4	0,4	2,3
	P6	22	1,1	0,7	0,6	3,6
	P7	22	1,0	0,4	0,5	1,8
	P8	22	1,2	0,6	0,6	2,8
	P9	22	1,3	0,6	0,4	3,2
	P10	22	1,2	0,5	0,4	2,7
	Global		1,1	0,1	0,3	3,6

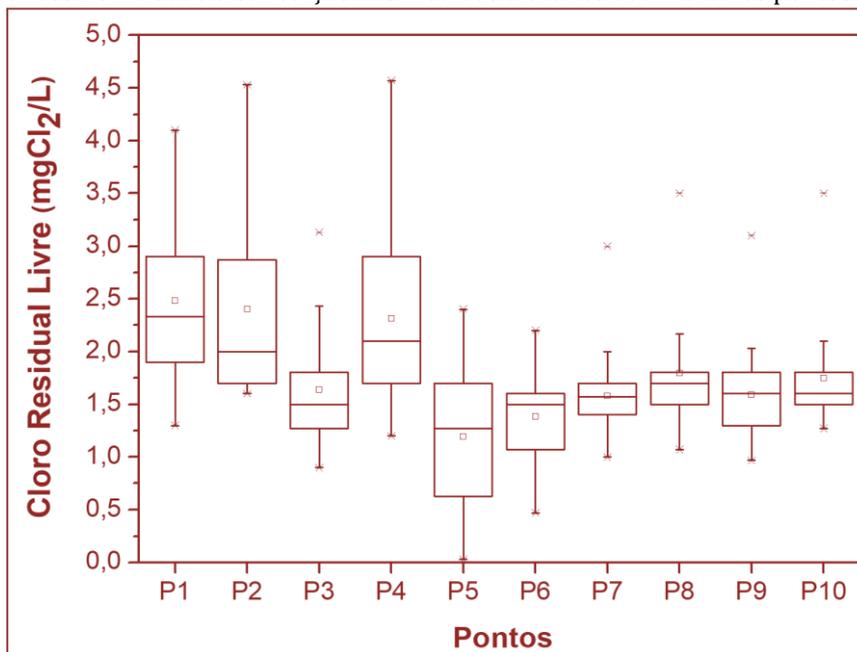
Fonte: o autor.

Para o cloro residual livre pode-se observar na análise global que o teor nos pontos de consumo, é em média $1,5 \pm 0,1$ mg/L, dentro dos limites exigidos pela Portaria de Consolidação N° 5 de 2017, que é de 0,2 mg/L e ao máximo exigido de 2,0 mg/L. Para o cloro residual combinado obteve-se a análise global de $1,1 \pm 0,1$, encontra fora do limite recomendado na legislação que é de no mínimo 2 mg/L.

Ainda na Tabela 1 pode-se observar nos valores mínimos que no P5 teve-se uma ocorrência de valores abaixo do permitido de cloro residual livre e não apresentou valor necessário de cloro residual combinado para manter residual necessário.

A Figura 2 apresenta a distribuição da concentração média de cloro residual livre, medidas dos 10 pontos de coleta. No gráfico é possível observar que, nos dez pontos de coleta, a distribuição das concentrações é assimétrica. Foi observada a existência de dados discrepantes (outliers) em P3, P7, P8, P9 e P10, nos demais pontos monitorados não foi verificada a existência. Porém estes limites estão dentro da tolerância de cloro residual livre definido pela lei.

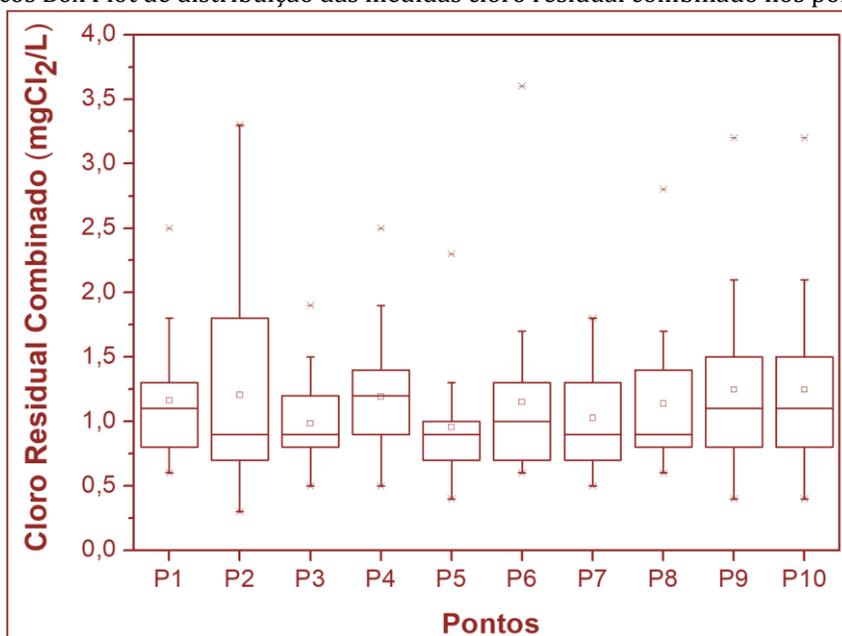
Figura 2: Gráficos Box Plot de distribuição das medidas cloro residual livre nos pontos de coleta.



Fonte: o autor.

Pode-se verificar na Figura 3, através do gráfico de distribuição das medidas do cloro residual combinado, nos oito pontos de coletas apresentaram outliers superiores P1, P3, P4, P5, P6, P8, P9 e P10, esse não causa mal à saúde, pois está dentro do permitido em lei que é de 4 mg/L para esta substância, mas podem causar rejeição ao paladar das pessoas.

Figura 3: Gráficos Box Plot de distribuição das medidas cloro residual combinado nos pontos de coleta.



Fonte: o autor.

4. DISCUSSÃO

Como observado nas análises global que os parâmetros cloro residual livre e cloro residual combinado estão dentro dos limites exigido pela Portaria de Consolidação N° 5 de 2017 que diz: é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição. Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L. Sendo assim a Companhia de Saneamento Básico que abastece Ibatiba-ES atende a legislação vigente.

Valores de cloro residual livre inferiores a 0,20 mg/L podem indicar falhas no processo de desinfecção, consumo excessivo do cloro residual no sistema de distribuição ou necessidade de pontos secundários de cloração devido à extensão da rede de distribuição.

Segundo a Portaria Consolidada n° 5/2017 locais localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição como pontas de rede, pontos de queda de pressão, locais afetados por manobras, sujeitos à intermitência de abastecimento e reservatórios, podem apresentar problemas. No município de Ibatiba foi possível observar que no P5 (casa, Rua Alaercio Lopes Campos s/n, B. Pró-Morar I) apresentou deficiência no CRL, local na qual está situado em ponta de rede e durante as coletas ocorreu intermitências de água. Deve-se ter uma maior atenção a essa região, pois não apresentou nem cloro residual livre e nem cloro residual combinado suficiente para fazer a manutenção destas substâncias na rede podendo assim ocorre a recontaminação da água neste ponto.

Embora não ofereça riscos à saúde, níveis de cloro residual livre superiores a 2,0 mg/L podem causar rejeição da população (devido à manifestação de gosto e odor na água) e, conseqüentemente, a busca por fontes alternativas não seguras. Como pode ser observado nos valores máximos da tabela 1, em todos os pontos analisados obteve-se valores acima do permitido.

Conforme Scuracchio (2010), em seus estudos para o cloro residual livre verificou-se que, em todas as amostras que não atenderam ao padrão, o valor obtido foi inferior ao limite mínimo estabelecido pela legislação, que é de 0,2mg/L, representando potencial risco a saúde do consumidor. Como pode ser observado na figura 2 os valores que não atenderam ao padrão, foram os valores superiores ao limite máximo recomendado pela lei que é de até 2mg/L, mas não ultrapassaram ao limite permitido da substância que é de 5mg/L de cloro residual livre para não causar mal à saúde humana.

5. CONCLUSÃO

Os estudos dos parâmetros de cloro residual livre e combinado da água de Ibatiba-ES, mostraram que a água é potável e os parâmetros estão dentro dos estabelecidos na Portaria Consolidação n°5 (BRASIL, 2017). Contudo, recomenda-se o contínuo monitoramento da qualidade da água de abastecimento de Ibatiba, nestes e em outros pontos, com vista à necessidade de garantir que o padrão de potabilidade possa ser seguido.

REFERÊNCIAS

- [1] APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.
- [2] BRASIL. Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Brasília, 2006, 60 f.
- [3] BRASIL. Portaria de consolidação n° 5, de 03 de outubro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Ministério da Saúde e Gabinete do Ministro, Brasília, DF, N° 190 - Seção 1 - Suplemento - 360 f.
- [4] ESTUDO TRATA BRASIL. Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. SNIS, 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>>. Acesso em 07 ago. 2018.
- [5] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 28 jul. 2018.
- [6] SCURACCHIO, P. A. Qualidade da água utilizada para consumo em escolas no município de São Carlos - SP. 2010. 57f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Programa de Pós-Graduação em alimentos e Nutrição. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara, 2010.

Capítulo 4

Histórico das ações ambientais de uma Unidade de Conservação e Proteção: O caso do Parque Ecológico da Laguna da Jansen, São Luís – MA

Anna Gabriela Brasil Léda

Claudemir Gomes de Santana

Danielle Cristina dos Santos Lisboa

Lucas Nadler Rocha

Renata Medeiros Lobo Muller

Resumo: A falta de saneamento básico pode ser considerado um problema constante em muitas cidades brasileiras, que por muitas vezes é ineficiente e até mesmo inexistente. Logo, uma maneira de analisar e propor melhorias consiste em identificar o problema e sugerir soluções. O estudo da qualidade da água tem como objetivo avaliar a qualidade dos corpos hídricos, que em alguns locais, mesmo após as retiradas dos pontos de lançamento de esgoto in natura, ainda pode existir problemas referentes a falta de cuidado no local. Através de uma revisão bibliográfica e pesquisa em campo, este trabalho teve por objetivo analisar o histórico das ações ambientais no Parque Ecológico da Laguna da Jansen em São Luís_MA, de maneira a avaliar as degradações por ações humanas ocorridas ao longo do tempo, tomando como objeto de estudo a poluição existente nas águas da Laguna da Jansen. Uma das estratégias de levantamento foi a coleta de relatos da população que mora no entorno, outra foi como especificar os modelos aplicados na despoluição de outros sistemas lagunares, destacando suas vantagens em termos de melhorias na qualidade da água. O emissário submarino juntamente com o sistema de aeração foram apontados, como ferramentas para o controle do processo de tratamento da laguna diante dos resultados obtidos em outras cidades, poderão trazer consequências positivas ao meio ambiente, confirmando a eficácia do método, identificando como funciona e suas aplicações.

Palavras-chave: Planejamento; Ações ambientais; Laguna.

1. INTRODUÇÃO

O saneamento básico compreende uma ação de contribuição para as cidades, ou seja, trata-se de coleta e tratamento de esgotos, manejo de resíduos sólidos, contenção de epidemias, tratamento de água potável ou qualquer que seja o tipo de procedimento que vá prejudicar a saúde pública.

Com isso, entende-se por um serviço de extrema importância para a população e para o meio ambiente, pois a carência deste são fundamentais para o surgimento de doenças, como as infecções enteroparasitoses que são comuns na infância, principalmente em crianças de classes socioeconômicas baixas.

As cidades são consideradas como espaços preeminentes de produção e de concentração com complexas infraestruturas, que estabelecem espaços onde a sociedade se encontra mais vulnerável a perdas de variados processos, ou, ainda, se transforma em espaço de riscos. Esse risco pode acontecer em função da ocupação inadequada e de processos produtivos, tecnológicos, sociais e "naturais", que determinam situações de perdas. Portanto, a apropriação e o uso dos recursos naturais, através de processos produtivos e a dinâmica dos processos tanto naturais como sociais tendem a gerar riscos à sociedade (CASTRO *et al.*, 1997).

Nesse contexto, é fundamental destacar a ação humana cada vez mais eficaz na degradação ao meio ambiente. Podendo enfatizar a noção de vulnerabilidade socioambiental proposta por Hogan *et al.* (2000), que procura associar à abordagem socioeconômica uma série de dados sobre a distribuição desigual dos bens e serviços públicos, como coleta de esgoto e resíduos, abastecimento de água encanada, agentes de saúde, além das desigualdades socioespaciais, entre outros aspectos que podem ser considerados. (e não na próxima coluna). Neste contexto realizou-se um estudo no Parque Ecológico da Lagoa da Jansen localizado no município de São Luís, entre os bairros Ponta d'Areia e São Francisco. Sendo um dos cartões-postais mais famosos da cidade e para a sua preservação, foi criado em 26 de junho de 1988 o Parque Estadual da Lagoa.

A pesquisa teve como objetivo investigar o histórico das ações ambientais na Laguna da Jansen e seu processo de degradação ambiental em função do crescimento populacional e a sua relação com a Lei de Saneamento Básico Estadual nº 8.923 de 12 de janeiro de 2009, no contexto da gestão ambiental. A escolha dessa determinada região se deu devido a inexistência do saneamento básico no local.

Buscou-se identificar os problemas sobre a falta de saneamento básico no local, relacionando a falta de cuidado e preservação do meio ambiente com o crescimento desordenado da região além de propor soluções viáveis para o mal cheiro da região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de dados se deu por meio de visitas não agendadas, através de entrevistas com moradores da região. Utilizou-se um questionário de opinião pública para se ter uma perspectiva sobre o olhar dos moradores e usuários a respeito da situação da Laguna da Jansen ao longo do tempo. Utilizou-se o método estatístico não-probabilístico acidental que consta, os indivíduos empregados nessa pesquisa são selecionados porque estão prontamente disponíveis. O questionário abordou perguntas de aspecto pessoal (sexo, idade e a quanto tempo mora na região), perguntas a respeito da utilização da Laguna (trabalho ou lazer). Também foram levantados questionamentos sobre também se existiam problemas ambientais existentes e o processo de urbanização e as condições mínimas de saneamento básico existente no local.

No total, foram entrevistadas cinquenta pessoas que moram nos quatro pontos distintos da Laguna e todos os dados foram gerados em uma planilha através do software Microsoft Word 2016.

Tornou-se necessário solicitar um estudo na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais (2018), para determinação da qualidade da água e se realmente surtiram efeito as retiradas de pontos de lançamentos de esgotos in natura.

Foram obtidas aerocartas dos anos de 1975, 1993, 1999 e 2009 disponibilizadas pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC), que foram utilizadas para a descrição do histórico das ações ambientais na Laguna da Jansen ao longo do tempo e análise da evolução do nível de ocupação e transformações ocorridas na lagoa. As aerocartas também foram utilizadas para efeito de comparação entre os anos de 1975 a 2018, apresentando o histórico das ações ambientais ocorridos no local ao longo do tempo.

A Secretaria Municipal de Urbanismo e Habitação (SEMURH) disponibilizou o Plano Diretor de São Luís do ano de 2006, bem como o zoneamento do local, que serviram como base para apresentar a falta de planejamento existente, bem como o seu crescimento desordenado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados do questionário aplicados com os moradores do local pode-se observar que das 50 pessoas que foram entrevistadas, 68% eram do sexo masculino e apenas 32% do sexo feminino. Isso ocorre devido aos pontos que foram coletadas as informações, pois a maioria tratavam-se de bares, lava-jatos e comércios. Com isso, 24% tem entre 15 a 30 anos, 42% estão entre 30 a 45 anos e 34% possuem 45 anos ou mais.

Dos entrevistados, 14% moram na área de influência direta da Laguna da Jansen a menos de 10 anos e 72% moram a mais de 10 anos. Com relação utilização da Lagoa, 78% respondeu que que a mesma “não serve para nada” e 22% a utilizam, sendo dividida em trabalho e lazer, se referindo a pesca que é feita no local e lazer, como por exemplo, a prática de esportes.

Dos entrevistados, 50% acreditam que na Laguna existam sim, problemas ambientais e todos apontaram que o esgoto lançado *in natura* seja a principal causa da poluição e mau cheiro no local, podendo ser identificado na Figura 1.

Figura 1. Esgoto sendo lançado in natura na Laguna da Jansen



Fonte: Acervo do autor (2018)

Os lixos que são constantemente jogados pelos moradores à beira da laguna são carreados para dentro da mesma pelas águas da chuva, contribuindo no processo de degradação e na contaminação da água. Na Figura 2, observa-se o lixo depositado por moradores.

Figura 2. Lixos depositados na laguna da Jansen pelos próprios moradores



Fonte: Acervo do autor (2018)

Portanto, foi perceptível a contradição existente entre os habitantes ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, quando foi questionado sobre o lixo na Laguna e foi obtido como resposta, a falta de auxílio dos gestores públicos com a limpeza. Com isso, observa-se uma constante falta de consciência ambiental tanto por parte dos gestores públicos quanto da população, pois os dois atores tem responsabilidades para cuidar e preservar do meio ambiente.

Quando se trata do processo de urbanização, ou seja, a forma como a Laguna se desenvolveu, a maioria demonstrou uma certeza que a mesma não obteve um crescimento ordenado. Dos entrevistados, 70%

tiveram absoluta certeza que os bairros em torno da Laguna da Jansen cresceram de forma desordenada, principalmente com muita invasão, constituindo-se de muitas ocupações irregulares.

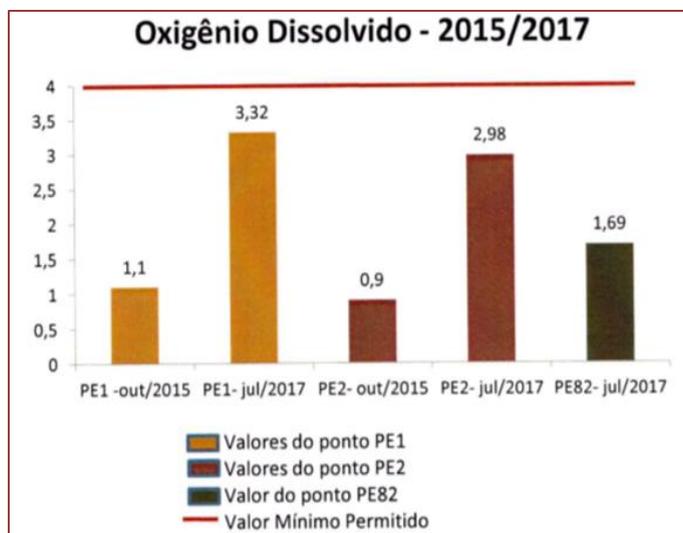
Os 30% restantes, além de não conhecer o mínimo sobre planejamento urbano, mesmo tendo algumas dúvidas esclarecidas sobre esse processo, afirmou que a mesma obteve sim, um crescimento ordenado.

Perguntou-se a população tem conhecimento sobre as condições mínimas de saneamento básico que os gestores públicos devem oferecer. De acordo com a pesquisa, 86% responderam que não e apenas 14% tem conhecimento e disseram que ao longo do tempo perceberam ações e resultados, como por exemplo, com a retirada dos pontos de lançamento de esgotos in natura, o odor melhorou um pouco e que eles acreditam que ainda tem muito a ser feito.

Ao avaliar os resultados analíticos emitidos pelo Laboratório de Análises Ambientais - LAA deste Órgão Estadual de Meio Ambiente – OEMA referentes aos anos de 2015 a 2017 sobre a qualidade da água da Laguna da Jansen. Os resultados analíticos da água mostraram que a Lagoa da Jansen possui uma grande quantidade de substâncias decorrentes de processos autóctones e alóctones.

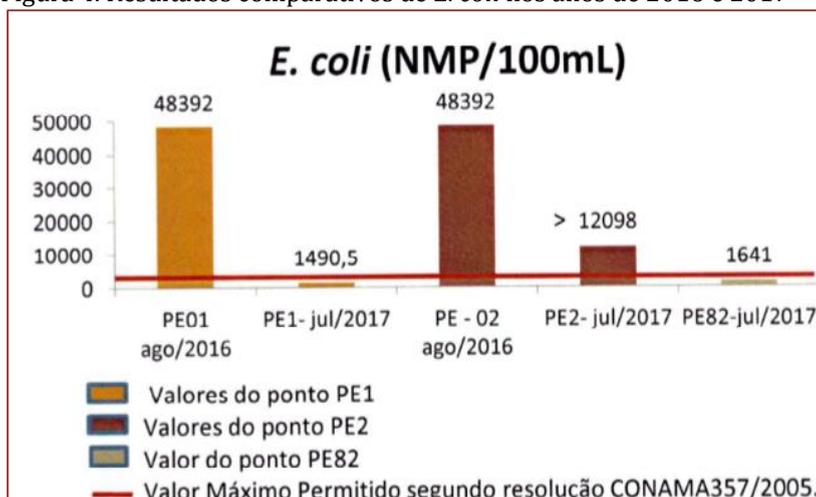
A Figura 3, mostra os resultados físico-químicos que foram coletados nos anos de 2015, 2016 e 2017. Na análise que ocorreu no ano de 2017, foi incluído mais um ponto no monitoramento o PE82 e um parâmetro a mais os sólidos sedimentáveis. A Figura 4 irá mostrar os resultados microbiológicos (Coliforme totais e E. coli) quantificados em 2016 e 2017. Na Figura 5 pode-se observar os resultados comparativos do pH.

Figura 3. Resultados comparativos entre de oxigênios dissolvidos entre 2015 e 2017.



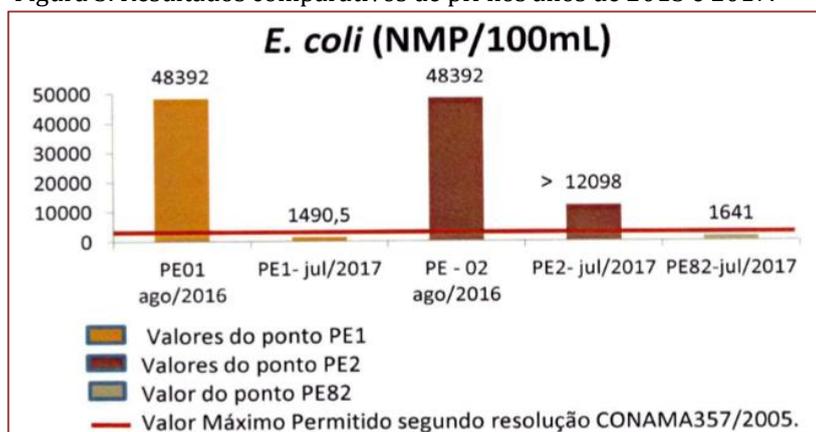
Fonte: SEMA, (2018)

Figura 4. Resultados comparativos de *E. coli* nos anos de 2016 e 2017



Fonte: SEMA, (2018)

Figura 5. Resultados comparativos de pH nos anos de 2015 e 2017.



Fonte: SEMA, (2018)

Os resultados apresentados foram análises microbiológicas comparativas entre os anos de 2016 e 2017 no ponto P01, onde mostram que após a retirada de lançamento de esgoto, houve uma redução de 96,92% no valor de *E. coli*, tornando o ponto compatível com a classe de enquadramento de corpo hídrico, do ponto de vista microbiológico. Já o ponto P02 manteve valores acima do Valor Máximo Permitido – VMP (2500) nos dois anos analisados, enquanto que, o ponto extra (PE82) apresentou *E. coli* aceitável para a classe na qual o corpo hídrico se enquadra (SEMA, 2018).

Nos anos de 2015 e 2017 foram alcançados resultados físico-químicos nos pontos PE1 e PE2 mostram que houve uma variação considerável na temperatura e pH e que o oxigênio dissolvido sofreu uma pequena elevação, mas ainda fora do padrão que foi solicitado, evidenciando um cenário similar ao longo período. O valor mínimo permitido de oxigênio dissolvido para o corpo hídrico em estudo é de 4mg/L, contudo todas as amostras analisadas apresentam valor inferior. O parâmetro pH permaneceu em uma faixa aceitável entre 6,5 a 8,5 nos anos analisados entre 2015 e 2017 (SEMA, 2018).

Portanto, de acordo com a resolução CONAMA 357 (2005), considerando que foram constatadas as não conformidades no parâmetro de oxigênio dissolvido em todos os pontos analisados em 2015 e 2017 e que, nas análises microbiológicas, exceto do PE01 e PE82 que foram acrescentadas em 2017, os valores de *E. coli* mantiveram-se acima do VMP, segundo a resolução, conclui-se que ainda existe impacto significativo dos esgotos lançados in natura no corpo hídrico em estudo (SEMA, 2018).

Portanto, de acordo com a resolução CONAMA 357(2005), considerando que foram constatadas as não conformidades no parâmetro de oxigênio dissolvido em todos os pontos analisados em 2015 e 2017 e que, nas análises microbiológicas, exceto do PE01 e PE82 que foram acrescentadas em 2017, os valores de E. coli mantiveram-se acima do VMP, segundo a resolução, conclui-se que ainda existe impacto significativo dos esgotos lançados in natura no corpo hídrico em estudo (SEMA, 2018).

Para propor soluções que possam ser aplicáveis e que realmente tragam resultados, foram feitos estudos aprofundados a respeito de qual seria o melhor estratégia a ser aplicado e utilizou-se algumas referências como base, como por exemplo o Emissário Submarino da Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro, que foi construído no ano de 2009 (Figura 6).

Observou-se ao longo da pesquisa que a realidade que ocorre na região da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, não se distorce muito da que os moradores do entorno da Laguna da Jansen vivenciam, ou seja, bairros crescendo simultaneamente e com isso o escoamento adequado do esgoto é sempre uma problemática em discussão entre os gestores e moradores.

Assim como na Laguna da Jansen, o emissário construído na Barra da Tijuca tem como propósito viabilizar a retirada dos esgotos lançados no sistema lagunar de Jacarepaguá. Com isso, tornou-se o principal modelo para a elaboração de solução para Lagoa da Jansen na cidade de São Luís, ou seja, com base no projeto proposto, que se trata de uma operação de 200 km de rede coletora, cinco estações elevatórias e parte da estação de tratamento de Barra da Tijuca (CEDAE, 2018).

Figura 6. Emissário Submarino da Barra da Tijuca no Rio de Janeiro

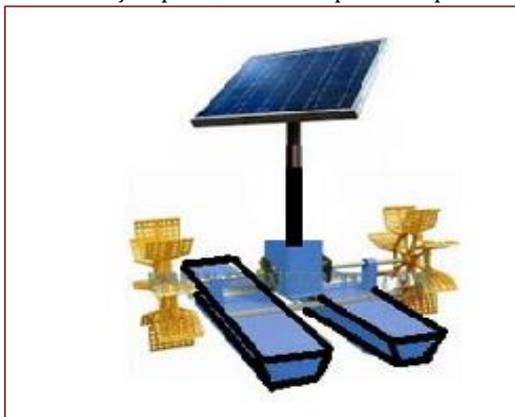


Fonte: CEDAE, 2018.

É de extrema importância ressaltar que o esgoto passará por uma estação de tratamento primária, onde todo o lixo será recolhido e a carga orgânica reduzida. O emissário ideal para ser aplicado na região da laguna, assim como o da Figura 6, também terá 5 km de extensão e se for projetado conforme o da Barra da Tijuca, poderá drenar em média 1.600 litros por segundo.

Aliado a esse projeto, para melhorar principalmente o mau cheiro existente no local, propõe-se o sistema de aeração que tem como objetivo melhorar a oxigenação da água. A proposta seria a implantação de aerador do tipo sistema de pás, que promovem aeração e movimento na superfície da água, bem como elimina odores, aumenta a eficiência e ajuda na maior capacidade de tratamento. Na Figura 7 temos a representação de um sistema de aeração.

Figura 7. Sistema de aeração por sistema de pás com placa de energia solar



Fonte: CAVASSANI, 2018.

De acordo com o proposto por Cavassani (2011), o aerador ideal seria com sistema de pás pois ajudaria também a manter a corrente da água para sentido desejado.

Com isso, quanto maior for a quantidade volume de esgotos que forem lançados na laguna, consequentemente maior será o consumo de oxigênio usado na respiração dos seres aquáticos.

Quando todo o oxigênio se extingue, as bactérias e outros seres que dependem do oxigênio para a respiração também são extintos e em seu lugar surgem outros seres microscópicos capazes de se alimentar e “respirar” na ausência do oxigênio. Estas bactérias são chamadas anaeróbicas. A ação destas bactérias na degradação da matéria orgânica produz gás carbônico resultante da oxidação e água resultante da redução do oxigênio.

4. CONCLUSÃO

A falta de planejamento urbano trouxe como consequência o crescimento desordenado da cidade de São Luís e com isso, muitos problemas ambientais consequentemente foram surgindo, principalmente com o lançamento de esgotos *in natura*. O que levou a lagoa da Jansen a sofrer com problemas ocasionados pela falta de conservação ambiental.

Dessa maneira, seria adequado um trabalho sobre Educação Ambiental não somente na comunidade, como também no município. Destacando a necessidade de um Plano Diretor adequado e revisado, pois o mesmo não sofre alteração desde o ano de 2006, passando do prazo previsto em lei. Sendo importante enfatizar também a carência de dados por parte dos órgãos responsáveis referentes a laguna, pois não possuíam informações atualizados da mesma, tendo apenas relatórios até o ano de 2017.

Por fim, esse trabalho tem como objetivo servir de instrumento de políticas pública para planos e ações futuras no Parque Ecológico da Laguna da Jansen, principalmente devido ao grande descaso ambiental que a região vive durante décadas.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Decreto Lei nº 4.669, de 11 de outubro de 2006. Dispõe sobre o Plano Diretor do município de São Luís e dá outras providências. São Luís, MA. 2006.
- [2] BRASIL. Decreto Lei nº 8.923, de 12 de janeiro de 2011. Institui a Política Estadual de Saneamento Básico - PESB, disciplina o convênio de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, e dá outras providências. São Luís, MA, 2011.
- [3] CASTRO, Cláudio de Moura. A prática da pesquisa. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1997.
- [4] CAVASSANI, Arnaldo Farto. Aerador solar para rios poluídos ou lagoas. Disponível em: <<http://cavassani.blogspot.com/2011/11/0215-aerador-solar-para-rios-poluidos.html>>. Acessado em 10 de mar. 2018.
- [5] (CEDAE). COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Programa de Saneamento da Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e Jacarepaguá - PSBJ. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/saneamento_barra_recreio_jacarepagua>. Acesso em 11 de mar. 2018.

- [6] HOGAN, D.; CUNHA, J.; CARMO, R.; OLIVEIRA, A. Urbanização e vulnerabilidades socioambientais diferenciadas: o caso de Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 12, 2000, Caxambu. Anais. Caxambu: ABEP, 2000. Disponível em: http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2000/Todos/ambt15_2.pdf. Acesso em 19 de mar. 2018.
- [7] MARANHÃO. (Governo do Estado). Programa de Saneamento e recuperação ambiental da Lagoa da Jansen. Estudo de Impacto Ambiental/ EIA. São Luís: SEPLAN, 1993.
- [8] SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DE RECURSOS NATURAIS (SEMA). Resultados analíticos da Laguna da Jansen. São Luís, 2018. (Relatório técnico).

Capítulo 5

Utilização de cinzas de lodo de efluentes industriais em substituição parcial ao cimento Portland na produção de argamassas

Luis Filipe Barros de Carvalho

Raimundo Pereira de Vasconcelos

Resumo: Vive-se em uma época onde se discute sobre o impacto ambiental de resíduos sólidos, bem como há uma discussão sobre a proposição de soluções para a reutilização destes. Entre esses resíduos, encontra-se o lodo de efluentes gerado por processos industriais. Neste contexto, o presente trabalho busca estudar a viabilidade da utilização das cinzas do lodo da estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) em argamassas. Para isso, foram coletadas amostras de lodo na ETEI da cervejaria AmBev, no município de Manaus, estado do Amazonas. O lodo de efluentes foi submetido ao processo de secagem, moagem e calcinação em muflas a uma temperatura de 650° C. Em seguida, este material foi adicionado em teores de 5% e 10%, em substituição ao cimento Portland, para a produção de argamassas. Aos 7 dias, verificou-se que a argamassa com 5% de substituição obteve uma resistência média superior à da argamassa sem substituição. Já aos 28 dias, as resistências médias das argamassas com substituições mantiveram-se próximas à da argamassa de referência, demonstrando que a substituição do cimento Portland pelo resíduo não alterou as características mecânicas das argamassas produzidas em relação àquelas sem adição. Deste modo, observa um potencial uso do lodo de ETEI como substituto parcial do cimento Portland na produção de argamassas.

Palavras-chave: cinzas, efluentes industriais, lodo de ETEI, substituição parcial, argamassa.

1. INTRODUÇÃO

A desenfreada geração de resíduos pelo ser humano gera um enorme impacto ao meio ambiente. Além disso, o consumo cada vez mais elevado de produtos industrializados faz com que o impacto seja ainda maior. Por consequência, as indústrias, tendo maior demanda, passam a consumir crescentemente mais recursos e, em função disso, há um aumento significativo na utilização de fontes naturais, tais como, a água, elemento essencial a vida no planeta.

Desta forma, diante desse panorama, faz-se necessário que as indústrias tenham uma gestão eficiente de seus resíduos, bem como o correto emprego de sua matéria prima. Neste sentido, a cervejaria AmBev, uma indústria multinacional, com uma de suas sedes localizada na Avenida Constantino Nery, na cidade de Manaus, estado do Amazonas, tem um compromisso de reaproveitamento de mais de 99% dos subprodutos dos processos produtivos. Segundo a própria AmBev, o bagaço do malte e o fermento residual resultante do seu processo produtivo são empregados na produção da ração animal, enquanto a terra infusória, outro resíduo do processo, que poderia ser descartado, é utilizado como matéria-prima na fabricação de tijolos. Já o lodo proveniente das estações de tratamento de efluentes, pode ser utilizado como adubo orgânico.

A indústria da cervejaria AmBev conta com uma política gestão de resíduos sólidos e uma grande estação de tratamento de efluentes industriais. A estação de tratamento funciona em torno de 24 horas por dia e recebe, por canalização, todos os efluentes provenientes da linha de produção da cervejaria. Na estação existem duas bombas de captação de efluentes, cuja vazão de tratamento pode chegar a 2000 m³/dia, e em horários de pico esta chega a 180 m³/h. Após o final do processo de tratamento do efluente, o lodo excedente é repassado para um tanque. O lodo é tratado com extremo cuidado na estação, por conter microrganismos vivos, sendo coletada uma amostra de duas em duas horas para controle mais eficiente.

O lodo poderia ser utilizado em plantações, de forma a melhorar as características do solo, em razão de ser um material rico em nutrientes, como fósforo e nitrogênio. No entanto, as empresas que poderiam aproveitar este material, acabam sendo desmotivadas por entraves relacionados à burocracia com institutos ambientais, tais como o IPAAM (Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas). Por esse motivo, o lodo produzido na cervejaria Ambev em Manaus é encaminhado para a empresa Ecomix, onde este é recebido, moído juntamente ao material advindo de outros tipos de indústrias do Polo Industrial de Manaus, previamente incinerado e depois armazenado podendo ser descartado ou comercializado como fíler para preenchimento asfáltico.

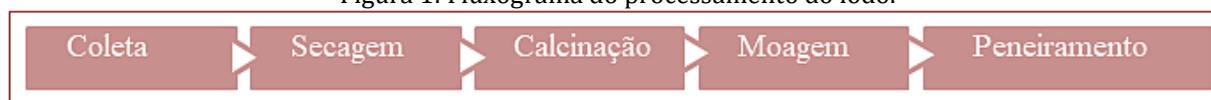
Neste contexto, uma alternativa ao descarte do lodo seria a queima deste e a utilização das suas cinzas na produção de argamassas com cimento Portland. Tal alternativa vai de encontro com a crescente demanda por cimento e uma busca de materiais cimentícios econômicos e ecológicos pelo setor de construção (Austin-Morgan, 2015).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. PROCESSAMENTO DO LODO

Como a pesquisa visava avaliar a utilização das cinzas de lodo da cervejaria AmBev em substituição parcial ao cimento Portland, a queima controlada do lodo apresenta-se como uma das principais atividades do estudo, onde o processo de produção pode ser resumido no fluxograma contido na Figura 1, e o detalhamento de cada atividade é feito nos tópicos a seguir.

Figura 1: Fluxograma do processamento do lodo.



2.1.1. COLETA

Inicialmente foram feitas visitas técnicas à cervejaria da AmBev para coleta de informações que pudessem subsidiar a presente pesquisa. Em outubro de 2019, com apoio da empresa, foram coletadas amostras de lodo aeróbio e anaeróbio em dois tambores com cem litros cada.

O lodo aeróbio foi coletado a partir de baldes no tanque de aeração, com ajuda de funcionários. Já o lodo anaeróbio foi recolhido através de um reservatório contendo cerca de mil litros de lodo excedente, onde foi

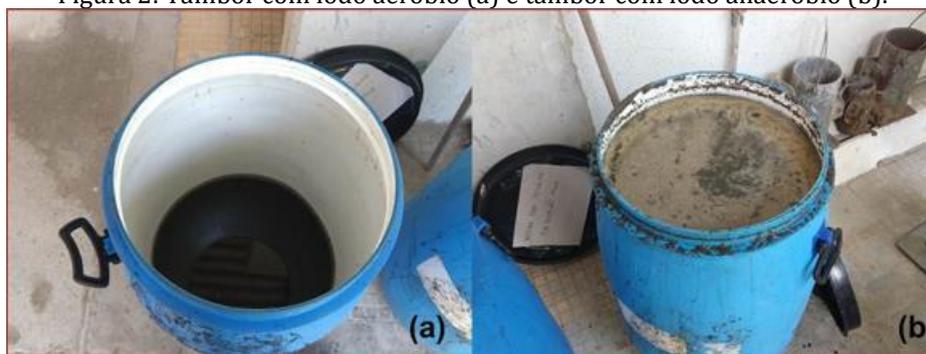
necessário o uso de uma empilhadeira para elevar o reservatório e, através de uma abertura na parte de baixo do reservatório, colocar o material dentro do tambor. Os dois tambores foram transportados e colocados em uma área externa do Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade Federal do Amazonas (LEM/UFAM) para decantação dos sólidos.

2.1.2. SECAGEM

Antes da queima controlada do lodo da ETEI, foi desenvolvido um processo para eliminar a grande quantidade de água presente neste, de modo que fosse otimizado o tempo da queima em forno mufla.

Após dois dias de armazenamento, com o resíduo sólido depositado no fundo dos recipientes, verificou-se que o tambor contendo lodo aeróbio apresentava uma grande quantidade de material líquido, o que acabou sendo descartado, pois não haveria aproveitamento do mesmo para pesquisa. Desta forma, apenas cerca de 30% do conteúdo coletado de lodo aeróbio foi utilizado para pesquisa, conforme visto na Figura 2-a. Quanto ao tambor contendo lodo anaeróbio, não houve a necessidade de descartar a parte líquida, por ter um volume maior de sólidos, sendo aproveitado todo o conteúdo coletado (Figura 2-b).

Figura 2: Tambor com lodo aeróbio (a) e tambor com lodo anaeróbio (b).



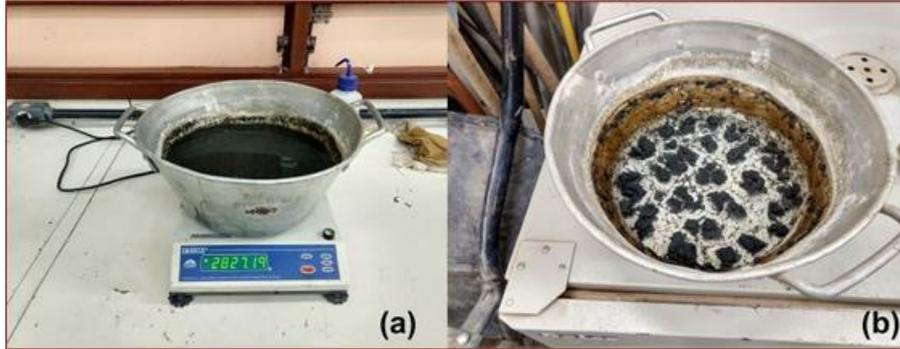
Em seguida, deu-se início ao processo de secagem do lodo. Para isso, cada tipo de lodo foi colocado em recipientes plásticos, as quais foram acondicionadas para iniciar a secagem ao ar livre em ambiente protegido das intempéries, conforme visto na Figura 3-a. Posteriormente, o lodo foi colocado em recipientes metálicos para a secagem completa em uma estufa a 110°C durante 48 horas (Figura 3-b).

Figura 3: Lodo aeróbio e anaeróbio em processo de secagem ao ar livre (a); Painéis contendo lodo aeróbio e anaeróbio dentro de estufa.



Com o término da secagem, pode-se perceber como uma grande quantidade de lodo aeróbio *in natura* resulta em uma pequena quantidade de sólidos (Figura 4), o que também ocorreu com o lodo anaeróbio.

Figura 4: Diferença entre lodo *in natura* (a) e seco (b).



2.1.3. CALCINAÇÃO

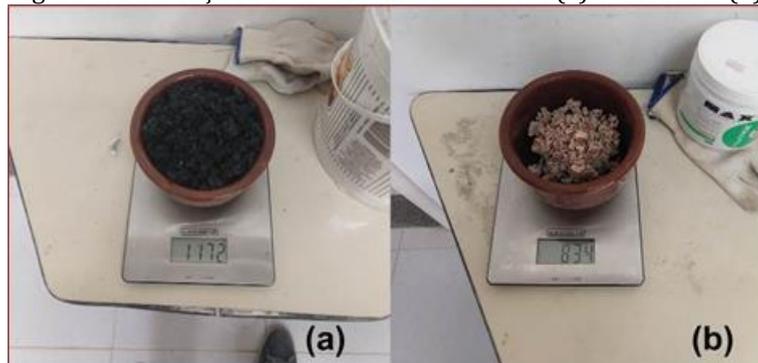
O processo de queima controlada do lodo foi realizado utilizando um forno mufla, durante três horas a 650°C, sendo realizado no Laboratório de Laminação, do departamento de Geologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A grande capacidade do forno mufla, conforme observado na Figura 5, permitiu que a calcinação completa do lodo fosse finalizada em uma semana.

Figura 5: Lodo seco antes do processo de queima dentro do forno mufla.



A partir da Figura 6, pode se observar a mudança na coloração e redução da massa inicial do material, sendo esta última oriunda da quantidade de matéria orgânica que foi retirada do material durante o processo da queima.

Figura 6: Diferença entre o lodo anaeróbio seco (a) e calcinado (b).

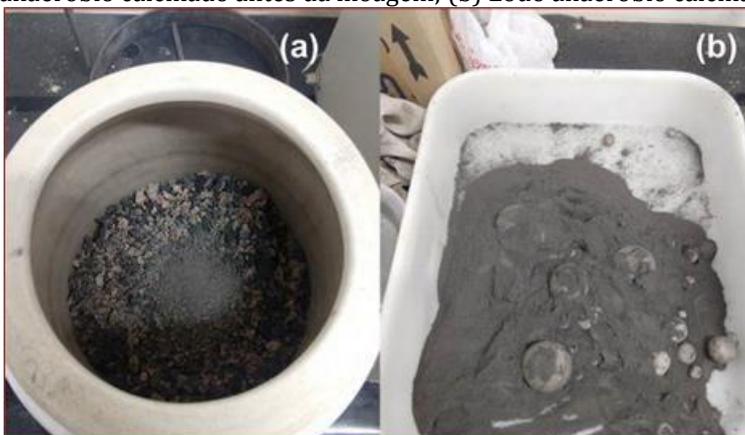


2.1.4. MOAGEM

Para obter materiais que atendem à finura exigida pela NBR 12653 para materiais pozolânicos, as cinzas foram submetidas ao processo de moagem em um moinho rotativo com duração entre duas e três horas.

Neste processo, utilizou-se o moinho de bolas do Laboratório de Laminação, na UFAM. A jarra utilizada é da marca Chiarotti, com capacidade de 10 litros, e a máquina responsável pela rotação é da empresa Quimis, com uma voltagem de 220 V a uma velocidade de 200 rpm. Os diâmetros das esferas de porcelana utilizadas no processo são de 10 mm, 20 mm, 25 mm, 25 mm e 60 mm. O processo foi realizado em dois dias, não havendo variação significativa na massa do material antes e após a moagem.

Figura 7: (a) Lodo anaeróbio calcinado antes da moagem; (b) Lodo anaeróbio calcinado após a moagem.



Conforme pode ser visto na Figura 7, o lodo calcinado moído já apresenta visualmente uma granulometria significativamente inferior, no entanto, para obter materiais que atendem à finura exigida pela NBR 12653 para materiais pozolânicos, foi necessário submeter os dois materiais moídos ao processo de peneiramento.

2.1.5. PENEIRAMENTO

Para este processo, utilizou-se a peneira de malha 0,075 mm (#200), com o objetivo de obter uma granulometria igual ou próxima à do cimento a ser utilizado nesta pesquisa.

O peneiramento do lodo aeróbio calcinado concluiu-se em apenas um dia. Já para o lodo anaeróbio calcinado, o peneiramento foi concluído em cerca de quatro dias.

2.2. PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A argamassa e a moldagem dos corpos-de-prova foram produzidas no LEM/UFAM. O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CP II Z 32 RS. Entende-se que o cimento CP I-S é o mais recomendado para este tipo de pesquisa, pois, segundo Kihara e Centurione (2005), contem uma adição de no máximo 5% de material pozolânico. No entanto, o mesmo não foi encontrado no mercado local, optando-se pelo cimento CP II Z, pois foi o cimento com o menor índice de adição encontrado no comércio da cidade.

Utilizou-se teores de 5% e 10% de lodo anaeróbio calcinado em substituição ao cimento Portland, com um traço definido em 1:1 e com fator água/cimento estabelecido em 0,425. Desta forma, o consumo de cada material a ser utilizado nesta pesquisa, encontra-se com mais detalhes na Tabela 1.

Tabela 1: Consumo dos materiais da argamassa

Mistura	Consumo (kg/m ³)			
	Cimento	Lodo Anaeróbio Calcinado	Areia	Água
Referência	1424,23	0	1424,23	605
5% de Lodo Anaeróbio Calcinado	1353,02	71,21	1424,23	605
10% de Lodo Anaeróbio Calcinado	1281,81	142,42	1424,23	605

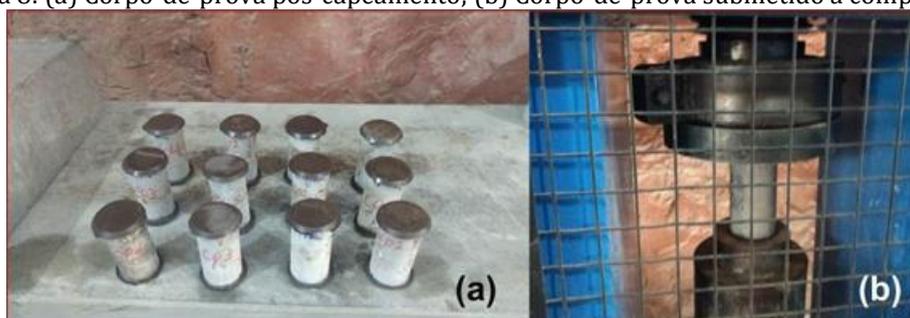
Seguindo as recomendações da NBR 7215, para cada dosagem e idade de ruptura, fabricaram-se quatro corpos de prova, totalizando 24 corpos de prova.

Tendo concluído o período inicial de cura, os corpos de prova foram desmoldados, identificados de acordo com a sua dosagem e pesados logo em seguida. Após, os corpos de prova foram submetidos à cura final em água, em um recipiente com água não corrente, onde permaneceram até o momento do ensaio.

2.3. ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio de compressão simples foi realizado nas dependências da empresa CS Verçosa, especializada em controle tecnológico do concreto. Os ensaios foram realizados para as idades de ruptura de 7 e 28 dias, em concordância com a NBR 5737. Antes do ensaio em si, os corpos de prova foram capeados com mistura de enxofre a quente em cada face (Figura 8-a), de tal forma que a distribuição de carga seja uniforme. Após o capeamento, deu-se início aos ensaios de resistência à compressão axial (Figura 8-b). Os ensaios de compressão foram realizados na máquina universal marca Contenco, modelo I-3025-H, com velocidade de deslocamento de 0,01 mm/min.

Figura 8: (a) Corpo-de-prova pós-capeamento; (b) Corpo-de-prova submetido à compressão.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CALCINAÇÃO

Após a conclusão da queima controlada do lodo aeróbio e anaeróbio, observam-se na Tabela 2, os resultados de materiais obtidos e nas Tabelas 3 e 4, a caracterização física dos lodos.

Tabela 2: Total de material produzido

	Total Seco (kg)	Total Calcinado (kg)
Lodo Aeróbio	0,342	0,180
Lodo Anaeróbio	6,526	1,414

Tabela 3: Teor de sólidos totais

	Teor de sólidos (%)	
	Lodo a 110°C	Lodo a 650°C
Lodo Aeróbio	2,24	1,17
Lodo Anaeróbio	7,08	1,53

Tabela 4: Teor de matéria inorgânica

	Teor de matéria inorgânica (%)
Lodo Aeróbio	52,63
Lodo Anaeróbio	21,67

De acordo com a Tabela 2, percebe-se que a quantidade de lodo aeróbio seco e calcinado é pequena em relação à do lodo anaeróbico, e, além disso, não foi suficiente para a produção de material necessário a moldagem dos corpos de prova a serem empregados na realização do ensaio de resistência à compressão. Quanto ao lodo anaeróbico calcinado, percebe-se uma queda acentuada da massa do material calcinado em relação ao material seco, o que também é evidenciado na Tabela 3 pela queda do teor de sólidos. Ao observar a Tabela 4, este comportamento pode ser explicado pelo baixo teor de matéria inorgânica encontrado neste lodo, ou seja, o lodo anaeróbico coletado na ETEI é composto em sua grande maioria de materiais orgânicos. A Tabela 4 também fornece a eficiência do processo, ao relacionar a quantidade de material calcinado obtido a partir do material seco.

3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de compressão simples tem por objetivo avaliar as propriedades mecânicas de corpos de prova cimentícios, produzidos com e sem a substituição parcial do lodo anaeróbico calcinado. Os resultados encontram-se na Figura 9 e Tabela 5.

Tabela 5: Resistência à compressão das argamassas nas idades de 7 e 28 dias

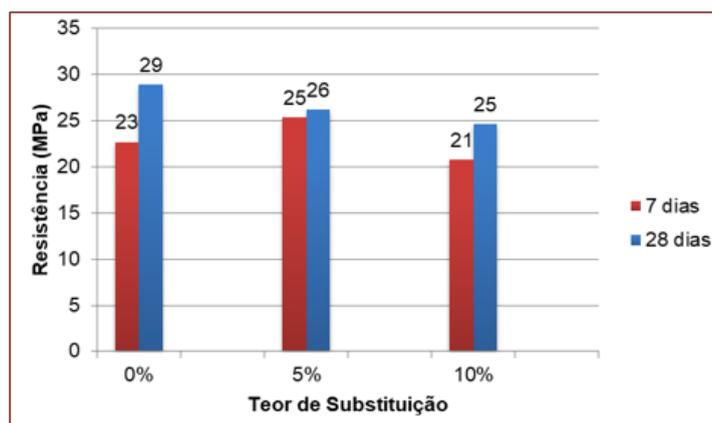
	7 dias			28 dias		
	Teor de Substituição			Teor de Substituição		
	0%	5%	10%	0%	5%	10%
	Resistência de Compressão (MPa)			Resistência de Compressão (MPa)		
Média	22,66	25,33	20,75	28,86	26,17	24,6
Desvio Padrão	3,2	1,32	2,47	6,01	6,51	4,69

Conforme a Tabela 5, verifica-se que na idade de 7 dias, o valor médio da resistência da argamassa com 5% de substituição é maior que a resistência da argamassa de referência, com um acréscimo de 11,78%. Já na idade de 28 dias, a resistência média da argamassa com 5% de lodo anaeróbico calcinado é menor que a resistência da argamassa de referência, com uma redução de 9,32% em relação à referência. Já a resistência média da argamassa com 10% de substituição apresentou redução nas duas idades em relação à resistência da argamassa de referência, com 8,43% de redução na idade de 7 dias e 14,76% de redução na idade de 28 dias, porém, ao se avaliar os desvios padrão, observa-se que não houve estatisticamente diferença entre os resultados das amostras com e sem teor de substituição da cinza de lodo.

A Figura 9 auxilia na compreensão dos resultados ao mostrar a evolução dos valores médios das resistências de compressão conforme a idade de ruptura. Percebe-se que há um crescimento na resistência média aos 28 dias quando comparadas aos 7 dias de idade, para todos os teores de substituição, onde há um acréscimo de 3,32% e 18,55%, para o teor de substituição de 5% e 10%, respectivamente. A argamassa de referência também apresenta aumento na sua resistência média, com um acréscimo aos 28 dias de 27,36% em relação aos 7 dias.

De acordo com Batalha (2012), este resultado pode ser creditado ao “efeito flier”, onde o efeito físico sobressai ao efeito químico. Isso se daria pela finura obtida a partir do peneiramento próxima à encontrada no cimento, o que reduziria os vazios.

Figura 9: Gráfico com valores médios das resistências à compressão das argamassas



4. CONCLUSÃO

Sendo assim, após verificar os resultados obtidos, devem ser feitas algumas considerações. A fim de obter um maior aproveitamento do material, é necessário pensar em uma melhor forma de coleta do lodo aeróbio, pois após todo o processo de queima, não foi possível alcançar uma quantidade adequada para a realização da pesquisa com este material. Por outro lado, o lodo anaeróbio coletado na empresa possui um baixo teor de matéria inorgânica, o que pode vir a dificultar o emprego do material para a finalidade proposta no presente trabalho. Ainda sobre o lodo anaeróbio, chamou atenção a grande produção de fumaça durante o processo de calcinação em mufla. Correlacionado ao baixo teor de matéria inorgânica, este fato deve ser investigado a fim de verificar a viabilidade da utilização deste material pelo ponto de vista ambiental.

Com o ensaio de compressão axial, verificou-se que aos 7 dias, a argamassa com 5% de substituição obteve uma resistência média superior à resistência da argamassa de referência. Já na idade de 28 dias, a resistência média da argamassa de referência foi levemente superior às resistências médias das argamassas com substituições, porém, ao se levar em consideração o desvio padrão, observa-se que não há diferença estatística entre os resultados obtidos, o que demonstra o potencial de substituição parcial do cimento por cinzas de lodo anaeróbio da ETEI da cervejaria.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Análise granulométrica, NBR 7181, Rio de Janeiro, 2016.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão, NBR 7215, Rio de Janeiro, 1996.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico, NBR 5739, Rio de Janeiro, 2018.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Materiais pozolânicos - requisitos, NBR 12653, Rio de Janeiro, 2012.
- [5] ATITUDES SUSTENTÁVEIS E ECONOMIA. Cervejaria Ambev. Disponível em: <<https://www.ambev.com.br/sustentabilidade/residuo-zero-e-clima/>>. Acesso em 21 abr. 2019.
- [6] AUSTIN-MORGAN, T. Making concrete from sewage sludge. Disponível em: <<http://www.materialsforengineering.co.uk/engineering-materials-news/making-concrete-from-sewage-sludge/88931>>. Acesso em 21 abr. 2019.
- [7] BATALHA, C. T. Avaliação das propriedades da argamassa com substituição parcial de cimento por cinza do lodo da estação de tratamento de água da cidade de Manaus. Manaus: UFAM, 2012.
- [8] CAVALCANTE, D. G.; MARQUES, M. G. S.; FILHO, J. A. M.; VASCONCELOS, R. P. Influência do teor de substituição do cimento Portland por metacaulinita e sílica extraída das cinzas da casca do arroz nas características físicas e mecânicas de pastas cimentícias. Cement & Concrete Composites, 2016.
- [9] DA SILVA, C. R. L. et al. Viabilidade da incorporação do lodo de estação de tratamento de esgoto (ETE) em massa cerâmica para produção de blocos. Cerâmica vol. 61. São Paulo, 2015.

[10] FONTES, C. M. A. Utilização das Cinzas de Lodo de Esgoto e de Resíduo Sólido Urbano em Concretos de Alto Desempenho. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2008.

[11] GEYER, A. L. B. Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

[12] KIHARA, Y.; CENTURIONE, S. L. O cimento Portland. Concreto: ensaio, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

Capítulo 6

Úlceras de pressão: Desenvolvimento de tecido tridimensional e avaliação do desempenho funcional - pressão e detecção de umidade

Alessandra Brandani Biggi

Viviane Oliveira Soares

Washington Luiz Félix Santos

Ana Maria Moreira Ferreira Rocha

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de um tecido tridimensional baseado em tecidos duplos, que simultaneamente promova o alívio de pressão e detecção de umidade, para ser utilizado como coberturas para colchões ou cadeiras, que possam constituir uma alternativa eficaz para prevenção das úlceras de pressão que acometem pessoas acamadas, cadeirantes ou com mobilidade reduzida. O crescente aumento da população idosa e a necessidade de melhoria da qualidade de vida ressaltam a importância do desenvolvimento de estruturas que atuem de maneira eficaz sobre os fatores extrínsecos correlacionados a formação das úlceras de pressão. Apesar das tecnologias existentes, este problema persiste nos dias atuais e representam um ônus econômico para os pacientes e hospitais e apesar do potencial das estruturas de tecidos tridimensionais, estas têm sido pouco exploradas em dispositivos para prevenção das úlceras de pressão. Numa primeira fase desse trabalho, apresenta-se o desenvolvimento de um tecido duplo para alívio de pressão e detecção de umidade. Em seguida apresenta-se a caracterização do desempenho funcional deste tecido, referente a pressão, realizada com voluntários, e a detecção de umidade. O resultado da caracterização da pressão obteve pico máximo na faixa de 126-182 mmHg. Esse resultado revela pressões inferiores quando comparado com outros estudos para este fim e também mostra que a pressão depende das características anatômicas e idade de cada voluntário. Durante a produção do tecido no tear foram inseridos filamentos de trama de poliamida texturizada revestida a prata, para integrar zonas de detecção de umidade. Os resultados mostraram que o tecido produzido é capaz de atuar na detecção de umidade, que pode ser causada pelo suor ou pela incontinência urinária. Os valores da corrente elétrica nos filamentos condutores do tecido aumentaram significativamente com o aumento da massa da solução absorvida. Os valores da corrente elétrica atingiram a saturação de 2 mA para aproximadamente 0,8 mg de solução. Foram realizadas três lavagens no tecido com o filamento condutor e os resultados indicaram que a condutividade elétrica não foi alterada.

Palavras-chave: úlceras de pressão, tecidos 3D, pressão, detecção de umidade.

1. INTRODUÇÃO

As úlceras de pressão são lesões que surgem em determinadas áreas do corpo humano, decorrentes de isquemia e necrose tecidual desenvolvidas pela compressão dos tecidos moles entre as proeminências ósseas e a superfície externa, durante um período de tempo [1]. Estas lesões afetam tipicamente pessoas com déficit de sensibilidade ou com mobilidade reduzida, tais como pacientes acamados [2].

O desenvolvimento das úlceras de pressão pode dar-se em apenas algumas horas de imobilidade do indivíduo, mas sua cura, pelo contrário, pode levar meses [1,3]. Neste contexto, torna-se fundamental a adoção de estratégias de prevenção e o desenvolvimento de tecnologias que minimizem a sua formação.

Existem vários fatores de risco associados à formação de úlceras de pressão, tais como fatores intrínsecos do indivíduo (alteração da sensibilidade, mobilidade prejudicada, idade, má perfusão/oxigenação tecidual, pele frágil, alteração do estado de consciência e má nutrição) e os fatores extrínsecos (pressão, forças de atrito, tensão de corte e microclima (temperatura e umidade)) [1,4-8].

A pressão, frequentemente relacionada com a redução de mobilidade, é apontada como o fator extrínseco mais importante no desenvolvimento destas lesões e a redução da pressão na interface corpo-superfície de contato é o foco da maioria dos produtos existentes para minimizar este problema [9,10]. Contudo, as condições do microclima envolvente, compreendido pela superfície de suporte-utilizador, também têm grande relevância na formação de úlceras de pressão.

Os diversos estudos realizados sobre a influência dos fatores extrínsecos indicaram que a temperatura e/ou umidade tendem a aumentar a sensibilidade da pele aos efeitos nocivos da pressão e tensões de corte [11,12]. Dentre os substratos têxteis desenvolvidos, os tecidos duplos, demonstraram grande potencial para melhorar estas condições, minimizando ou evitando a formação de úlceras de pressão. A sua estrutura confere-lhes uma ótima absorção de energia, boa resistência à compressão, boas propriedades térmicas, gestão de umidade e boa respirabilidade [13-16]. Contudo, apesar do seu potencial estas estruturas têm sido pouco exploradas em dispositivos para alívio de pressão.

Nos últimos anos, o surgimento de materiais funcionais, como fios e filamentos condutores, abriu novas perspectivas ao desenvolvimento de estruturas têxteis [17,18] acopladas a sensores, com capacidade para detecção e monitorização de condições fisiológicas e ambientais [19,20], tais como, ritmo cardíaco [21], pressão [22,23] ou umidade [16,17,24,25]. Os tecidos são considerados plataformas ideais para detectar sinais devido à grande superfície de contato permanente, em conformidade com o corpo, são flexíveis e extensíveis, tornando-os uma solução interessante.

A maioria dos produtos existentes para prevenção das úlceras de pressão baseiam o seu princípio de funcionamento em materiais não-têxteis como gel e espumas. O presente trabalho é especificamente orientado para o desenvolvimento de estruturas têxteis tridimensionais para serem utilizadas como coberturas para colchões ou cadeiras, baseadas em tecidos duplos, que simultaneamente promovam alívio de pressão e detecção de umidade, e que possam constituir uma alternativa eficaz para prevenção de úlceras de pressão em pessoas acamadas, cadeirantes e idosos debilitados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DESENVOLVIMENTO DO TECIDO TRIDIMENSIONAL

Um minucioso estudo bibliográfico, demonstrou o potencial que as estruturas tecidas tridimensionais, designadas tecidos duplos com relevo, apresentavam para gerarem alívio de pressão e promoverem conforto térmico [14,26]. Por outro lado, estudos realizados sobre os tipos de fibras mais comuns em aplicações na área da saúde, apontaram a fibra de algodão como material preferencial por não provocar alergias, ser uma fibra suave [27], com ótimo comportamento mecânico [28] e com boa absorção de umidade, permitindo uma boa permeabilidade ao ar e ao vapor de água [13,27,29].

O padrão do tecido desenvolvido foi projetado para maximizar a superfície de contato com o corpo (promovendo melhor distribuição de peso sobre o tecido) e simultaneamente facilitar a transferência de calor e umidade. O padrão do tecido tridimensional foi baseado em uma forma geométrica com volume, a partir de quadrados distribuídos na superfície do tecido, separados entre si por barras planas, formando um efeito de xadrez. As principais características de construção e as propriedades geométricas e estruturais do tecido, são apresentadas respectivamente nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características de construção do tecido desenvolvido

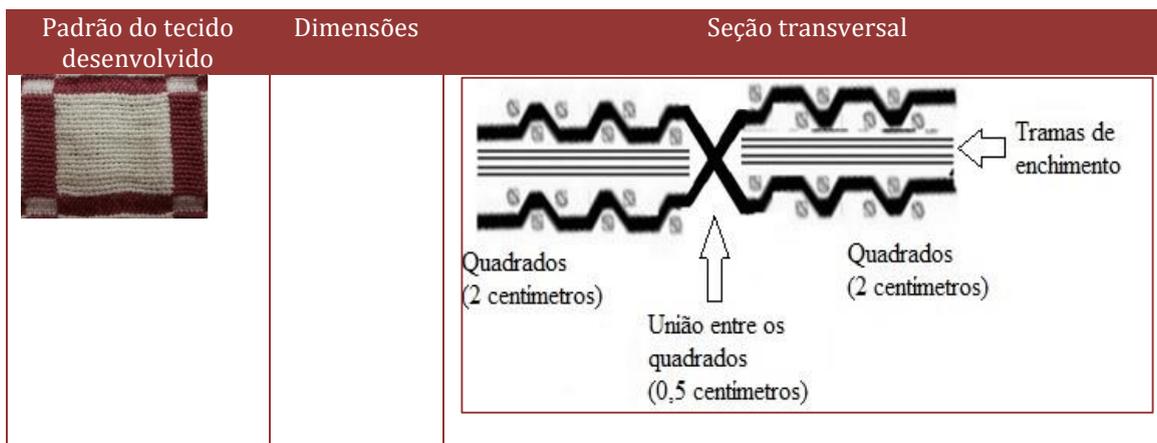


Tabela 2. Propriedades geométricas e estruturais dos tecidos

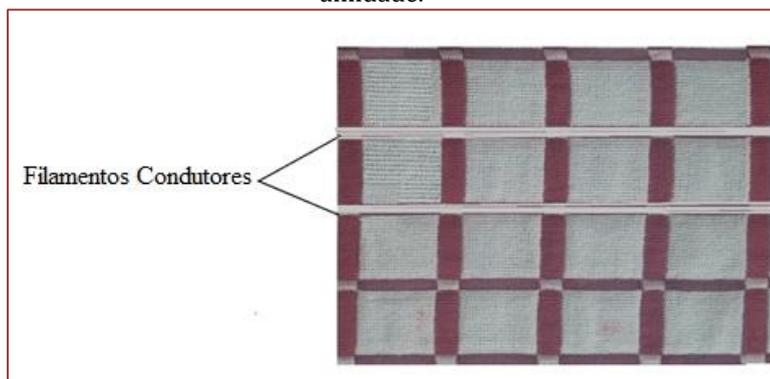
Massa linear dos fios (Ne)						
Tecidos superiores e inferiores (urdume x trama)	Tramas de enchimento	Contextura (fios cm ⁻¹) (urdume x trama)	Massa/área (g/m ²)	Espessura (mm) 100Pa	Densidade do tecido (g/cm ³) *	Porosidade do tecido (%)**
38/2 x 60/2	12/2	109 x 58	517,02	3,92	0,132	91,4

* Densidade do tecido (g / cm³) = Massa de área do tecido (g / cm²) / Espessura do tecido (cm) **Porosidade (%) = 1 - [densidade do tecido (g / cm³) / densidade da fibra (g / cm³)] x100

A técnica de tecelagem utilizada no desenvolvimento do tecido duplo foi a de ligação por teia, com troca da posição dos fios da teia inferior e superior quando pretendido. O tecido tridimensional foi projetado e desenvolvido em um tear de pinças bilaterais da marca Vamatex, na empresa Somelos Tecidos, localizada em Ronfe- Portugal. Todo o processo de concepção e simulação foi efetuado no sistema CAD Penelope Dobby Pro 11.4 e encontra-se em Anexo neste trabalho.

Para integrar zonas de detecção de umidade, foi inserido durante a produção do tecido no tear, filamentos de trama de poliamida texturizada revestida de prata, 11 tex, 34 filamentos e resistência elétrica de 70 Ω/m ± 20 de Ω/m (Elitex, produzido pela TITV). Os filamentos condutores formaram duas barras condutoras paralelas na direção da trama. A estrutura de trama 3D com filamentos condutores é mostrada na Figura 1.

Figura 1. Estrutura de tecido desenvolvido com os filamentos condutores para atuarem na detecção de umidade.

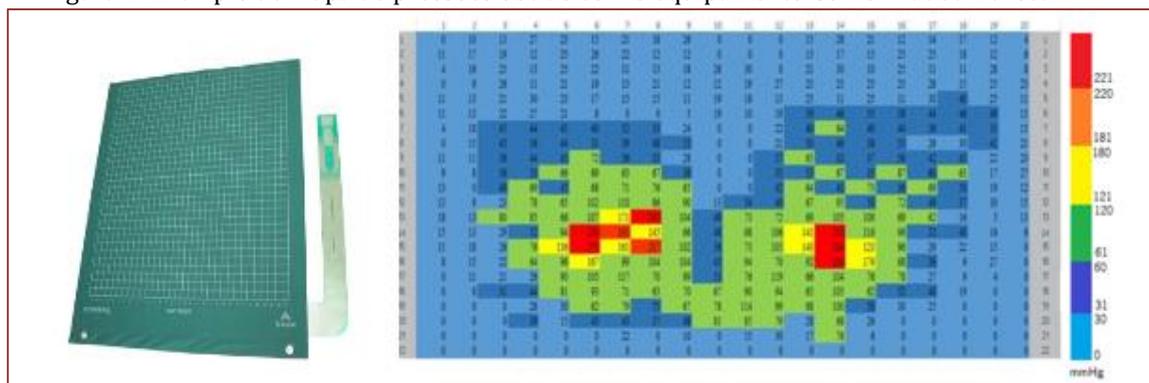


Essas barras serviam como terminais para a medição da corrente elétrica, separadas por uma base de tecido não condutora.

2.2. AVALIAÇÃO DA PRESSÃO DO TECIDO DESENVOLVIDO

A avaliação da pressão a que determinadas áreas do corpo estão sujeitas quando em contato com uma superfície de suporte é essencial para validar o desempenho dos tecidos desenvolvidos neste projeto. Para esse fim utilizou-se o equipamento de medição e mapeamento de pressões Conformat™ 5330 da Tekscan (Figura 2). Este equipamento é composto por 1024 sensores piezoresistivos distribuídos numa área de detecção de 471,4 x 471,4 mm.

Figura 2. Exemplo de mapa de pressões obtido com o equipamento Conformat da Tekscan.



Neste trabalho, a avaliação de distribuição de pressão foi efetuada sobre a zona isquiática, com o sujeito na posição sentada, sem suporte para os pés ou costas e tendo como interface o tecido desenvolvido. A duração de cada medição foi de 180 segundos. O teste foi realizado com três sujeitos voluntários, cujas características se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos voluntários

Sujeito	Sexo	Idade	Peso (Kg)	Altura (m)	Índice de massa corporal (%)
1	Feminino	68	49	1,60	19,14
2	Feminino	26	54	1,63	20,32
3	Masculino	32	68	1,68	24,09

Os dados adquiridos pelo equipamento foram exportados para tratamento e análise. Consideraram-se para análise seis intervalos de pressão registada: 0-30 mmHg; 31-60 mmHg; 61-120 mmHg; 121-180 mmHg; 181-220 mmHg e superior a 221 mmHg.

2.3. AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO DE UMIDADE

O princípio físico da detecção de umidade do tecido desenvolvido, baseia-se na variação da corrente elétrica de um material têxtil condutor quando a umidade promovida pela transpiração ou incontinência urinária, é absorvida ou dispersa. Para caracterização, a abordagem adotada no experimento foi a medida de corrente elétrica, sob uma tensão constante de 3V, em função da quantidade de eletrólito (9g/L de NaCl (cloreto de sódio)) absorvida pelo tecido.

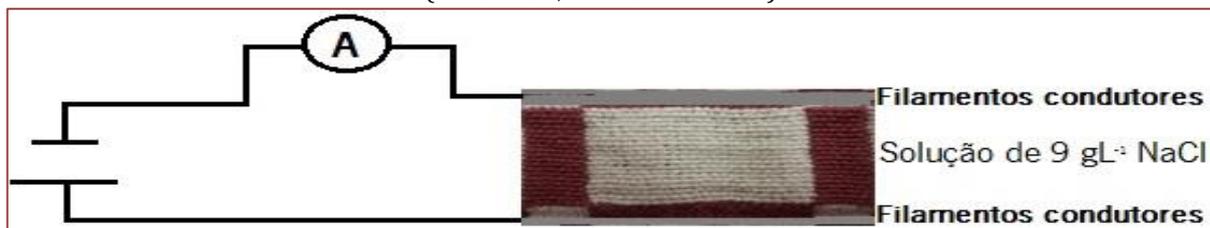
O teste foi realizado a partir de um circuito elétrico simples, composto por uma fonte de tensão Minipa (modelo MPL-3303m), mantendo-se uma tensão constante de 3V e um multímetro Impac (modelo IP-4120) utilizado na função amperímetro na escala 20mA.

A fonte de tensão foi conectada ao tecido usando fios de cobre de aproximadamente 0,5 mm de diâmetro e o multímetro foi conectado ao tecido e a fonte. Em seguida a solução de 9g/L de NaCl à temperatura ambiente e ar atmosférico foi gotejada no tecido e os valores de corrente elétrica foram medidos em função da massa de solução absorvida pelo tecido.

Para inferir a quantidade de solução absorvida pelo tecido, estimou-se a massa de uma gota de solução, utilizando o valor médio do peso de 10 gotas de solução. Para isso, utilizou-se um conta-gotas e uma balança de precisão KERN da Sohn GmbH, modelo D-72336. Esse procedimento foi repetido cinco vezes para calcular o valor médio da massa de uma gota.

A umidade absorvida/dispersa pelo tecido duplo não condutor entre os dois filamentos condutores submetidos a uma tensão de 3V, produz uma corrente elétrica que é detectada pelo amperímetro. A configuração do circuito elétrico utilizado no teste é apresentada na Figura 3.

Figura 3. Configuração do teste para medidas da corrente elétrica em função da quantidade de eletrólito (Tensão-3V; Intensidade-20 A)



A solução foi depositada sobre o tecido sendo mantida uma distância mínima de 25 cm do ponto de conexão entre os fios de cobre rígidos e o tecido. Essa distância era necessária para garantir que a solução não entrasse em contato direto com os fios de conexão.

Inicialmente, o teste era realizado no tecido desenvolvido antes de ser lavado. Após o primeiro teste, a amostra foi lavada de acordo com a norma NP EN ISO 6330 para remover a solução salina e uma segunda medição foi realizada. Após a segunda medição, uma segunda lavagem e uma terceira medição foram realizadas e, finalmente, após uma terceira lavagem, uma quarta medição da corrente elétrica foi realizada. Todos os testes foram realizados em triplicata, considerando o valor médio e o desvio padrão para cada condição de medida.

3. RESULTADOS

3.1. AVALIAÇÃO DA PRESSÃO DOS TECIDOS

Atendendo a que a magnitude da pressão é um dado importante de um produto desenvolvido para minimizar a formação das úlceras de pressão, realizou-se um estudo detalhado das pressões registadas na área isquiática, para cada voluntário.

A Figura 4 ilustra o mapa de pressão corporal obtido com os voluntários sentados, durante 180 segundos. E o Gráfico 1 apresenta os picos máximos de pressão e a frequência da pressão acima de 60 mmHg.

Figura 4. Mapa da pressão corporal dos voluntários na regiões dos ísquios

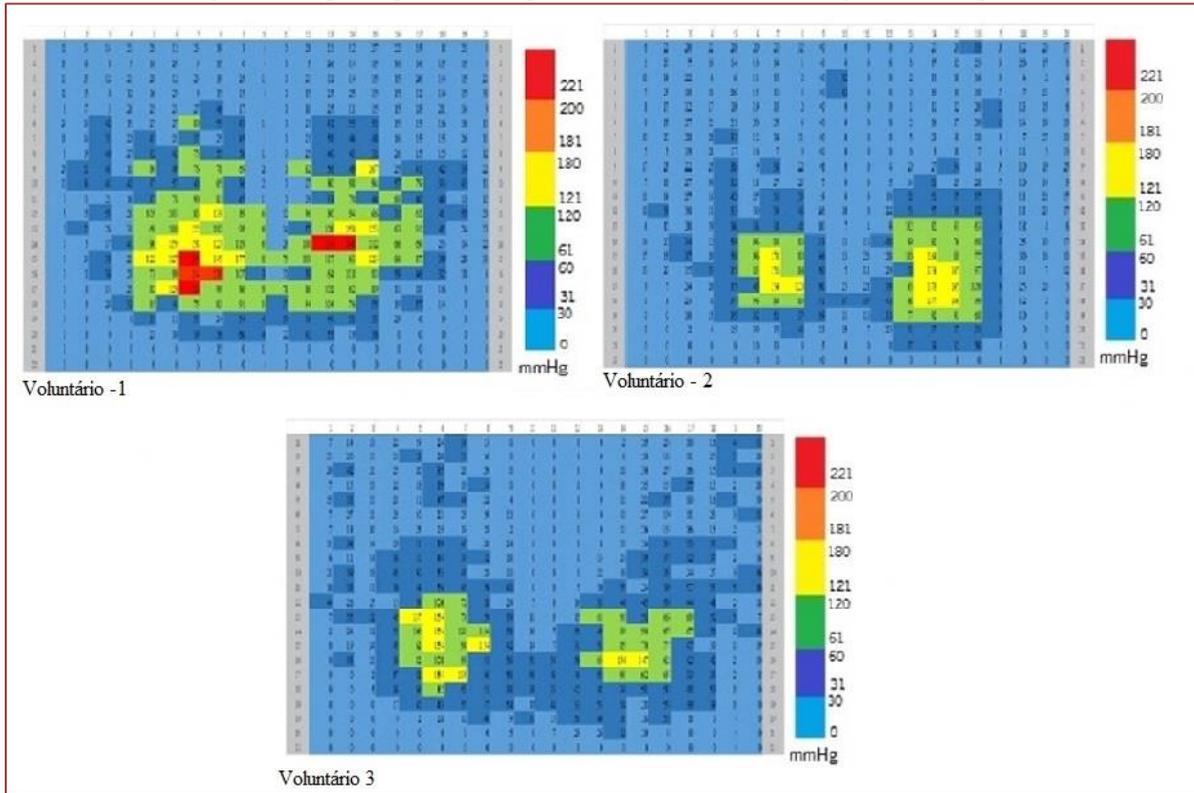
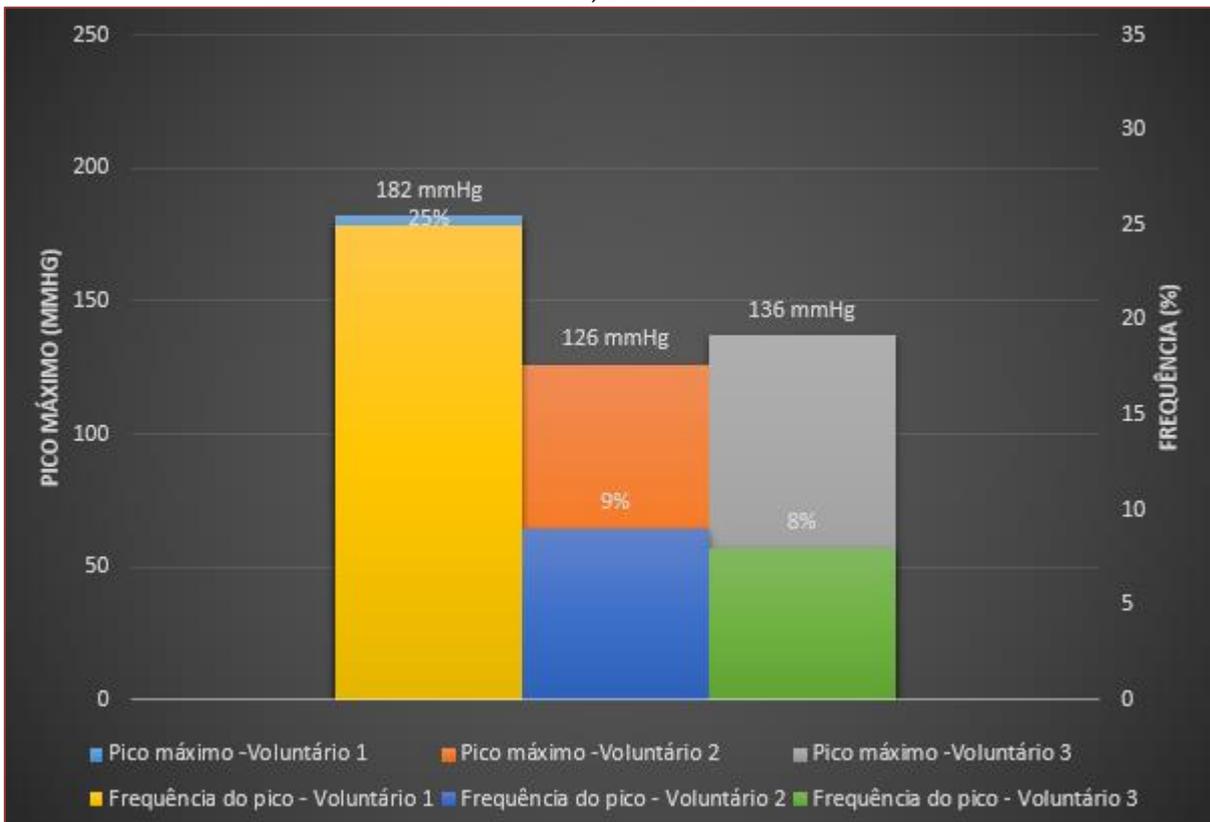


Gráfico 1. Picos máximos de pressão *versus* frequência da pressão acima de 60 mmHg – Tecidos 1, 2, 3 e 4 - Voluntários 1, 2 e 3 - 1 camada.



Como pode ser visto no Gráfico 1, o pico máximo e a frequência de ocorrência de valores de pressão acima de 60 mmHg foi registrado com o voluntário 1. Os voluntários 2 e 3, apresentaram resultados semelhantes entre si, reduzindo a frequência e o valor médio do pico máximo de pressão na interface.

Apesar das diferenças de desempenho registradas entre voluntários, salienta-se que as características anatômicas e idade dos voluntários afetaram a magnitude da redução da pressão e a frequência. Índices de massa corporal baixos e idade mais elevadas (voluntário 1) influenciaram negativamente esta redução.

É importante salientar que, para os três voluntários, os tecidos desenvolvidos neste trabalho revelaram um desempenho superior quando comparados com estudos realizados por outros pesquisadores, onde os picos de pressão registrados são mais elevados, da ordem de 200 mmHg [30–32] na região dos ísquios.

4. MEDIÇÕES DE DETECÇÃO DE UMIDADE

O Gráfico 2 apresenta os valores de corrente elétrica em função da quantidade de solução absorvida pelo tecido, mantendo-se uma tensão constante de 3V. Observa-se que nas amostras não lavadas, o aumento da corrente elétrica em função da quantidade de massa de solução apresenta um comportamento linear. No entanto, os valores de corrente elétrica obtidos a partir de 0,2 mg de solução, são muito baixos. Isso deve-se principalmente à dificuldade de absorção da solução pelo tecido não lavado, provocada por produtos de preparação (encolantes, molhantes, etc.) utilizados no processo de produção do tecido.

O comportamento após lavagem foi avaliado sob três condições: amostra lavada uma vez, duas vezes e três vezes. A lavagem da amostra foi realizada para retirar a solução salina adicionada e verificar a influência do número de lavagens na condutividade do tecido. Verifica-se no Gráfico 2 que os valores de corrente elétrica em função da massa de solução, não dependem do número de lavagens a que os tecidos foram submetidos. A corrente elétrica aumenta significativamente com o aumento da massa de solução absorvida até aproximadamente 0,6 mg de solução. A partir desta massa de solução, os valores de corrente elétrica tendem a atingir um valor de saturação de 2 mA para aproximadamente 0,8 mg de solução.

Este teste simples, mostra que a amostra do tecido integrando fios condutores na trama é capaz de detectar umidade e que o valor da corrente elétrica não variou significativamente devido às lavagens. A Figura 5 mostra que a corrente atingida é suficiente para acender um diodo emissor de luz (LED - Light Emitting Diode).

Gráfico 2. Medidas da corrente elétrica em função da quantidade de solução absorvida pelo tecido, mantendo-se uma tensão de 3V.

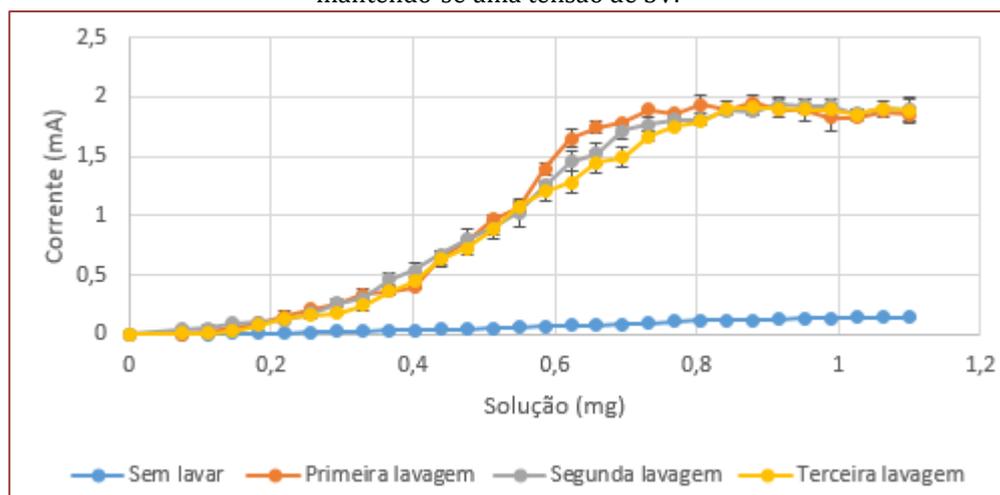
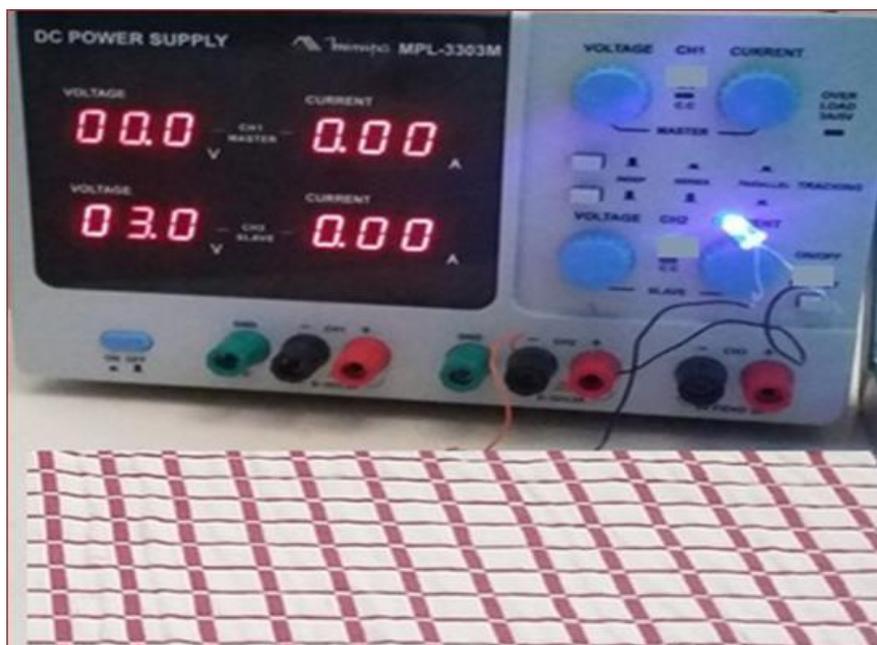


Figura 5. Circuito de montagem



5. CONCLUSÕES

A análise da literatura permitiu avaliar o potencial de inovação dos tecidos duplos para minimizar a formação das úlceras de pressão e identificar os fatores extrínsecos que levam à formação das úlceras de pressão. Neste contexto, o propósito deste trabalho foi o desenvolvimento de estruturas têxteis tridimensionais baseadas em tecidos duplos, que simultaneamente promovam alívio de pressão e detecção de umidade, para serem utilizadas como coberturas para colchões ou cadeiras, que possam constituir uma alternativa eficaz para prevenção de úlceras de pressão em pessoas acamadas ou com mobilidade reduzida.

Foi desenvolvido um tecido duplo com um padrão projetado para favorecer o alívio de pressão e o microclima.

A avaliação do desempenho funcional do tecido duplo desenvolvido é essencial para estimar o risco de desenvolvimento de úlceras de pressão. A magnitude dessas pressões depende das propriedades da superfície de contato (padrão do tecido), das características anatômicas dos indivíduos e da sua postura. A pressão foi maior para o voluntário 1 (182 mmHg) que possui índice de massa corporal inferior a 20% e idade superior a 65 anos.

Ao considerar o estudo de tecidos para pessoas com mobilidade reduzida, um tecido com propriedades de detecção de umidade torna-se essencial. A umidade no tecido que pode ocorrer por suor ou incontinência urinária aumenta a probabilidade de formação de úlcera de pressão devido ao aumento da sensibilidade da pele aos efeitos prejudiciais da pressão e do cisalhamento. Diante desse problema, foi realizado a inserção de filamentos condutores para atuar na detecção de umidade.

O tecido desenvolvido apresentou boa absorção da solução, o que implicou em uma rápida detecção da corrente elétrica em função da quantidade de solução absorvida pelo tecido. Portanto, pode-se dizer que o tecido é hidrofílico e que esta característica se deve à fibra de algodão e a estrutura do tecido tridimensional. Além disso, o tecido desenvolvido é capaz de atuar na detecção de umidade, mesmo após ser submetido a sucessivas lavagens.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado com fundos FEDER através do Programa Operacional de Fatores de Competitividade - COMPETE e com fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia. Projeto POCI-01-0145-FEDER-007136, Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil.

REFERÊNCIAS

- [1] J.A. Rocha, M.J. Miranda, M.J. Andrade, Abordagem terapêutica das úlceras de pressão: intervenções baseadas na evidência, *Acta Med Port.* 19 (2006) 29–38.
- [2] M. Takahashi, J. Black, C. Dealey, A. Gefen, Pressure in context, *Int. Rev. Press. Ulcer Prev. Press. Shear. Frict. Microclim. Context.* 1 (2010) 1–10.
- [3] A.B.F. Medeiros, C.H.A. de Freitas Lopes, M.S.B. Jorge, Análise da prevenção e tratamento das úlceras por pressão propostos por enfermeiros, *Rev. Da Esc. Enferm. Da USP.* 43 (2009) 223–228.
- [4] S. Coleman, C. Gorecki, E.A. Nelson, S.J. Closs, T. Defloor, R. Halfens, A. Farrin, J. Brown, L. Schoonhoven, J. Nixon, Patient risk factors for pressure ulcer development: systematic review, *Int. J. Nurs. Stud.* 50 (2013) 974–1003.
- [5] H. Orsted, T. Ohura, K. Harding, Pressure, shear, friction and microclimate in context, *Int. Rev. Press. Ulcer Prev. Press. Shear. Frict. Microclim. Context. A Consens. Doc.* (2010) 1–9.
- [6] E. McInnes, A. Jammali-Blasi, S.E. Bell-Syer, J.C. Dumville, N. Cullum, Support surfaces for pressure ulcer prevention, *Cochrane Database Syst Rev.* 4 (2011) 1–19.
- [7] P.B. Keller, J. Wille, B. van Ramshorst, C. van der Werken, Pressure ulcers in intensive care patients: a review of risks and prevention, *Intensive Care Med.* 28 (2002) 1379–1388.
- [8] S.L. Garber, D.H. Rintala, Pressure ulcers in veterans with spinal cord injury: a retrospective study, *J. Rehabil. Res. Dev.* 40 (2003) 433.
- [9] D.J. Jolley, R. Wright, S. McGowan, M.B. Hickey, D.A. Campbell, R.D. Sinclair, K.C. Montgomery, Preventing pressure ulcers with the Australian Medical Sheepskin: an open-label randomised controlled trial, *Med. J. Aust.* 180 (2004) 324–327.
- [10] S. Hampton, S. Young, C. Bree-Aslan, A. Colbourn, Parafricta™ material: can it reduce the potential for pressure damage?, *J. Community Nurs.* 23 (2009) 28–31.
- [11] M. Clark, M. Romanelli, S.I. Reger, V.K. Ranganathan, J. Black, C. Dealey, Microclimate in context, *Int. Rev. Press. Ulcer Prev. Press. Shear. Frict. Microclim. Context. A Consens. Doc.* (2010) 19–25.
- [12] L. Gerhardt, N. Mattle, G.U. Schrader, N.D. Spencer, S. Derler, Study of skin–fabric interactions of relevance to decubitus: friction and contact-pressure measurements, *Ski. Res. Technol.* 14 (2008) 77–88.
- [13] E. Pryczynska, B. Lipp-Symonowicz, A. Wieczorek, W. Gaszynski, K. Krekora, E. Bittner-Czapinska, Sheet fabrics with biophysical properties as elements of joint prevention in connection with first-and second-generation pneumatic anti-bedsore mattresses, *Fibres Text. East. Eur.* 11 (2003) 50–53.
- [14] M. Snyckerski, I. Frontczak-Wasiak, A functional woven fabric with controlled friction coefficients preventing bedsores, *AUTEX Res. J.* 4 (2004) 137–142.
- [15] N. Gokarneshan, *Fabric structure and design*, New Age International, 2004.
- [16] I. Parkova, A. Vilumsone, Functional and Aesthetic Design of Woven Electrotiles, *J. Text. Apparel, Technol. Manag.* 8 (2013) 1–9.
- [17] S. Eriksson, L. Berglin, E. Gunnarsson, L. Guo, H. Lindholm, L. Sandsjö, Three-dimensional multilayer fabric structures for interactive textiles, in: *Third Conf. 3D Text. Their Appl. Wohan, China, 20110420, 2011*: pp. 1–6.
- [18] T. Bashir, L. Fast, M. Skrifvars, N. Persson, Electrical resistance measurement methods and electrical characterization of poly (3, 4-ethylenedioxythiophene)-coated conductive fibers, *J. Appl. Polym. Sci.* 124 (2012) 2954–2961.
- [19] S. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, M. Rodgers, A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation, *J. Neuroeng. Rehabil.* 9 (2012) 21.
- [20] L. Van Langenhove, *Smart textiles for medicine and healthcare: materials, systems and applications*, Elsevier, 2007.
- [21] A. Pantelopoulos, N.G. Bourbakis, A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part C (Applications Rev.)* 40 (2010) 1–12.
- [22] J. Lee, H. Kwon, J. Seo, S. Shin, J.H. Koo, C. Pang, S. Son, J.H. Kim, Y.H. Jang, D.E. Kim, Conductive fiber-based ultrasensitive textile pressure sensor for wearable electronics, *Adv. Mater.* 27 (2015) 2433–2439.
- [23] K.S. Jeong, S.K. Yoo, Electro-textile interfaces: Textile-based sensors and actuators, *Smart Cloth. Technol. Appl.* 98. 113 (2010).
- [24] H. Carvalho, A.P. Catarino, A. Rocha, O. Postolache, Health monitoring using textile sensors and electrodes: An overview and integration of technologies, in: *Med. Meas. Appl. (MeMeA), 2014 IEEE Int. Symp., IEEE, 2014*: pp. 1–6.
- [25] J. Lage, A.P. Catarino, H. Carvalho, A.M. Rocha, Smart shirt with embedded vital sign and moisture sensing, in: *SPWID 2015 First Int. Conf. Smart Portable, Wearable, Implant. Disabil. Devices Syst., Iaria, 2015*: pp. 25–30.

- [26] D. Xu, M. Ge, Thickness determination in textile material design: dynamic modeling and numerical algorithms, *Inverse Probl.* 28 (2012) 12–22.
- [27] B.K. Behera, Comfort and handle behaviour of linen-blended fabrics, *AUTEX Res. J.* 7 (2007) 33–47.
- [28] K.A. Asanovic, D.D. Cerovic, T. V Mihailovic, M.M. Kostic, M. Reljic, Quality of clothing fabrics in terms of their comfort properties, *Indian J. Fibre Text. Res.* 40 (2016) 363–372.
- [29] T.C.C. Afonso, Conceção de uma estrutura têxtil multifuncional para a profilaxia de patologias ulcerosas no pé de pacientes diabéticos, (2009) 1–47.
- [30] R. Aissaoui, C. Kauffmann, J. Dansereau, J.A. de Guise, Analysis of pressure distribution at the body-seat interface in able-bodied and paraplegic subjects using a deformable active contour algorithm, *Med. Eng. Phys.* 23 (2001) 359–367.
- [31] Y. Tanimoto, H. Takechi, H. Nagahata, H. Yamamoto, Pressure measurement of air cushions for SCI patients, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 49 (2000) 666–670.
- [32] M. Ferrarin, G. Andreoni, A. Pedotti, Comparative biomechanical evaluation of different wheelchair seat cushions, *J. Rehabil. Res. Dev.* 37 (2000) 315.

ANEXO

Desenvolvimento do tecido no sistema CAD Penelope com filamento condutor

Ficha Técnica W. 0994 (999993) ALESSANDRA XADREZ +PASSAG.(CONDUTOR) ENSAIOS (COLEÇÃO) SOMELOS TECIDOS S.A. Base de Dados SomeLOS

Fios lundo = 6360 fios (2 x 3180 + 0) Pente 48/pol. a 4 fios/pua Pua: 2x12 = 1590 = 1614 Metros urdidos: 106 Pág. 1 de 1

Durela: 2 x 36 = 72 fios Cor: A Larg ao pente: 168.27 + 2.54 = 170.81 cm N. Lijos: 2 + 8 = 10 Metros tecidos: 100 SOMELOS TECIDOS

TOTAL FIOS = 6432 fios Larg. tecido cru: 165 cm Larg. acabado: 150 cm Metros acabados: 96 Cliente: OF -

FIO Spol. Sipente: 96 Cru: 99 Acabado: 109.3 Contração tecido cru -> pente: 3.4 % Enchimento tela por ondulação: 5.7 % Data: 29-09-2016

PASS spol. Tear: 58.0 Cru: 77.2 (CM 19.2) Acab: 80.4 (CM 20.0) Contração acabamento -> tecido cru: 9.1 % Ench. (Larg. devido a acabamento): 4 %

TEIA 2 Fios/Rapp. Perda: 18 %

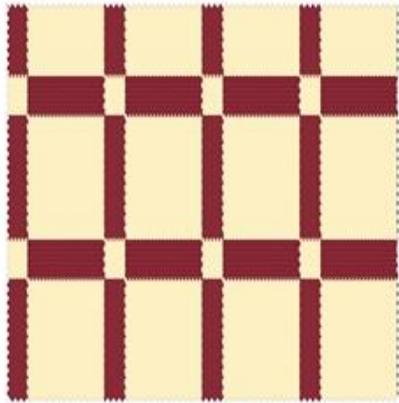
ID.Fio	Tipo	999993	36	1	36	Our+ Fios x Rapport + Resto + Our	Total	Kg/106 m teia
A	NE 38.2 005 300 A001	3288 - CREME	36	1	36	36 + 1 x 3180 + 0 + 36	3252	12.644
B	NE 38.2 005 300 A001	3775 - VERM		1		1 x 3180 + 0	3180	12.364
x3180=6360								
						36 + 2 x 3180 + 0 + 36	6432	25.007

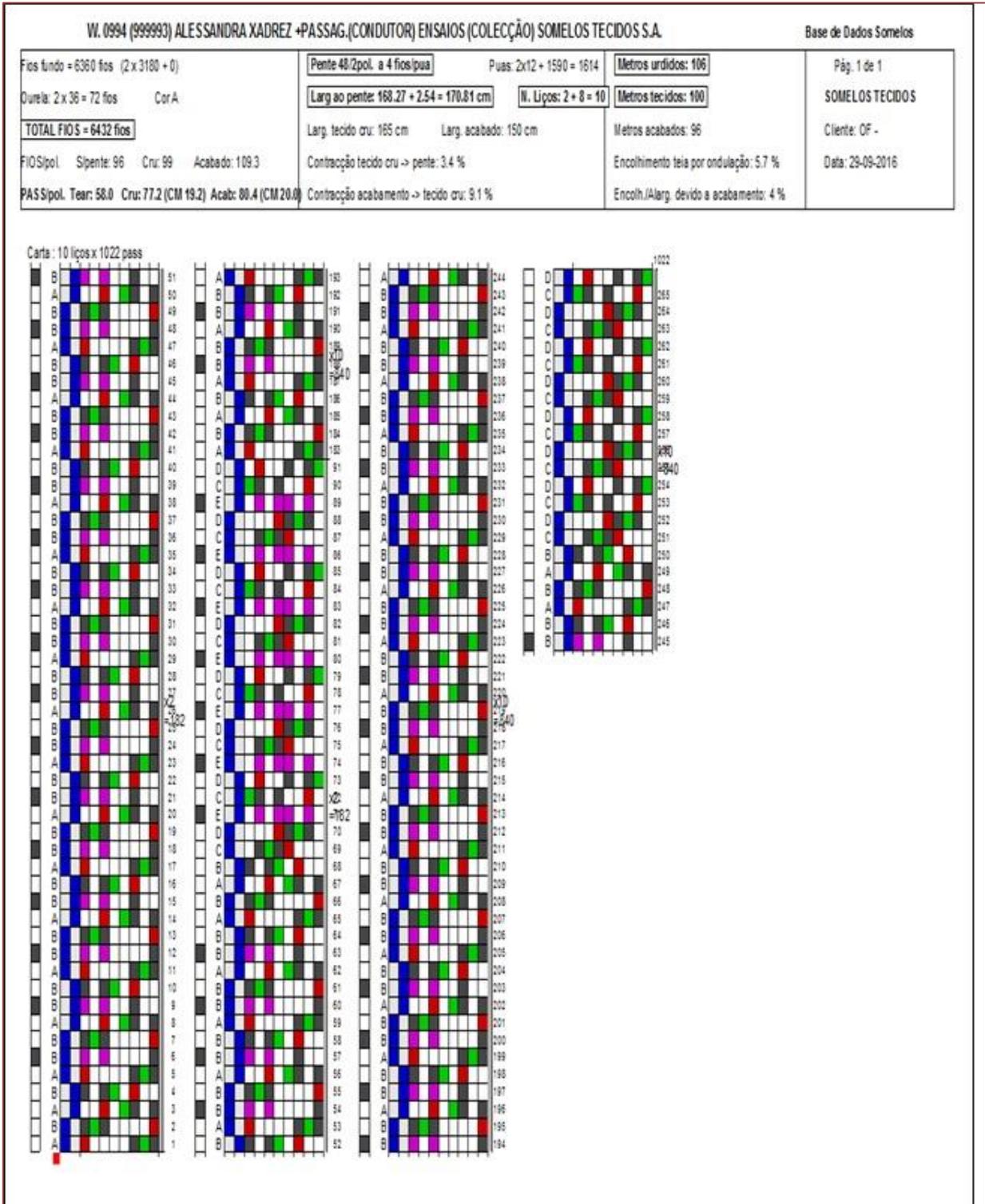
Composição: 100% PFM

TRAMA 1022 Pas/Rapp. Perda: 14 %

ID.Fio	Tipo	999993													Pas/Rapp.	Kg/100 m tec.			
A	NE 12.2 019 410 A001	3288 - CREME	1	1	1								1	1	1			288	16.413
B	NE 12.2 019 410 A001	3775 - VERM		1	2	1							1	2	1			528	30.091
C	NE 60.2 009 340 A001	3288 - CREME							1		1						1	96	1.094
D	NE 60.2 009 340 A001	3770 - VINHO							1		1						1	96	1.094
E	NE 12.2 019 410 A001	FIO - CONDUTOR									1							14	0.798
			x2=4	x20=60	x2=4	x7=21			x2=4	x20=60	x2=4	x8=16							
			x2=102						x10=840										
															1022	49.490			

Composição: 96% COE 4% PFL





Capítulo 7

Caracterização da microestrutura da ZTA do corte realizado por plasma, oxicorte e lixadeira em chapas de aço SAE 1045

Geriel Apolinário da Cunha

Gisélia Alves de Souza

Cristina de Carvalho Ares Elisei

Resumo: Em uma indústria siderúrgica são utilizados diversos metais para inúmeras aplicações, porém se utiliza alguns métodos para se cortar esses metais para a devida aplicação, tanto para cortes de produtos de uma siderurgia quanto para manutenção de máquinas dessa mesma empresa, por conta disso, foi realizado um estudo com o objetivo de apresentar e caracterizar a influência que esses cortes muito utilizados têm sobre esses metais, para isso, foram escolhidos três processos de corte muito utilizados na indústria, o corte a plasma, oxicorte e o corte por lixadeira, com isso foi identificado, por meio da análise metalográfica, que em cada corte a estrutura proveniente da zona termicamente afetada desse aço em relação ao aquecimento do corte é diferente em cada corte, desta forma, quando se realiza os cortes em uma chapa de aço, há uma transformação da estrutura matriz da peça em uma microestrutura rara de se encontrar em materiais sem condições controladas, como a presença de ferrita widmannstatten, martensita e bainita na ZTA do corte.

Palavras-chave: Processos de cortes, Aquecimento, ZTA, Micrografia.

1. INTRODUÇÃO

Os cortes realizados em chapas de aço servem para separar suas extremidades de um determinado material, esse processo é muito utilizado no dia a dia em diversas áreas, também é muito utilizado na indústria, pois se necessita de muitos cortes para dar diferentes formatos para diferentes aplicações.

Será apresentado neste artigo à análise da microestrutura de três cortes em um aço comum na indústria, os cortes que serão realizados, apresentará amostras de cortes realizados pelo processo de plasma, segundo Lima (2009), consiste em um processo que utiliza um bico com orifício otimizado para restringir um gás ionizado em altíssima temperatura, para que possa ser usado para derreter seções de metais condutores. Dessa forma, há vários modos de se realizar o corte de uma chapa utilizando a plasma, pois é uma tecnologia que está em estudo ainda, pois há muitos estudos sobre esse assunto, mas não tem o suficiente ainda, pois se sabe que pode-se utilizar esse meio de cortar materiais para diferentes área mecânica. “O processo de corte à plasma foi criado na década de 50 e tornou-se muito utilizado na indústria devido sua capacidade de cortar qualquer metal condutor de eletricidade principalmente os metais não ferrosos que não podem ser cortados pelo processo oxicorte” (CAMPOS *et al.*, 2010).

Outro meio de cortar a chapa de aço para a realização das amostras para que se realize o estudo, é o oxicorte. Pode-se definir o oxicorte como um “processo de seccionamento de metais pela combustão localizada e contínua devido à ação de um jato de O_2 de elevada pureza, agindo sobre um ponto previamente aquecido por uma chama oxi-combustível” (RAMALHO, 2008). É o meio mais utilizado na mecânica, pois o custo tanto da mão de obra quanto dos consumíveis, são baixos em relação aos outros processos, fazendo este tornar-se o mais viável.

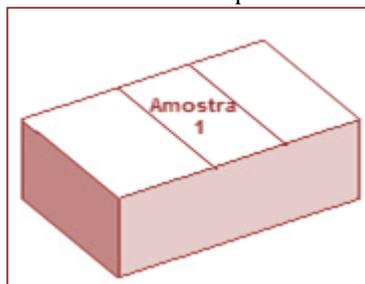
Por último será realizado o corte por lixadeira, este é bem mais comum que os outros cortes, pois o custo é baixo tornando viável, por causa do baixo consumo de energia e o tempo em que o operador tem para preparar e cortar o metal; porém, esse corte tem limitações, quando se trata de metais de grandes espessuras não é viável se cortar pelo processo de corte por lixadeira, pois consegue-se cortar apenas metais com pequenas espessuras, até aproximadamente metade do raio do disco de corte utilizado por questões de segurança, deve-se recorrer a outros processos de corte, que proporcione cortes em chapas com maiores espessuras.

Ao se realizar os cortes para estudo, é possível observar estruturas diferentes entre si, com isso, têm-se como objetivo analisar e comparar as microestruturas encontradas na zta dos cortes.

2. METODOLOGIA

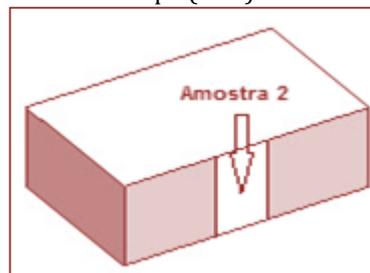
Para a realização desse trabalho foram utilizadas técnicas comuns utilizadas na indústria para a realização de corte do aço, para isso, foi retirado pequenas amostras da chapa de aço 1045, para isso foi utilizado amostras realizando as técnicas dos cortes por meio de oxicorte, plasma e lixadeira, após isso foi retirado amostras do local dos cortes para que fossem realizadas as técnicas de metalografia conforme figura 1a onde a amostra foi retirada para que pudesse analisar a influência do aquecimento na microestrutura ao longo da chapa, e a figura 1b que caracteriza a estrutura da borda, ou seja, no local do corte; as amostras foram submetidas ao processo de embutimento, lixamento, polimento e posteriormente realizado o ataque químico com reagente de ácido nital com concentração de 2% com isso, obteve imagens da microestrutura possibilitando análises.

Figura 1a - Amostra superior do corte retirada da chapa



Fonte: Autor

Figura 1b - Amostra da borda do corte retirada da chapa (ZTA)

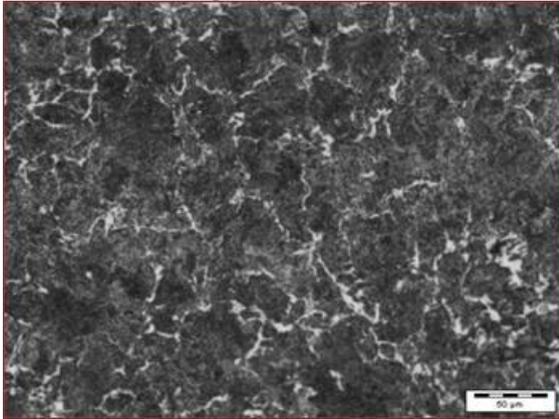


Fonte: Autor

3. RESULTADOS

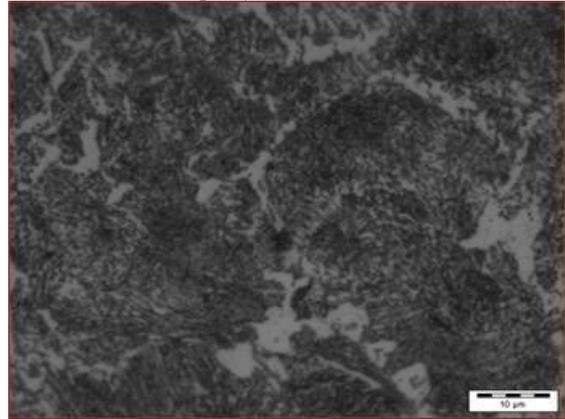
Conforme foi realizada a preparação das amostras, é possível ter uma análise detalhada do resultado obtido pelas imagens, conforme é apresentado a seguir:

Figura 2a - Corte realizado por plasma com ampliação de 500x



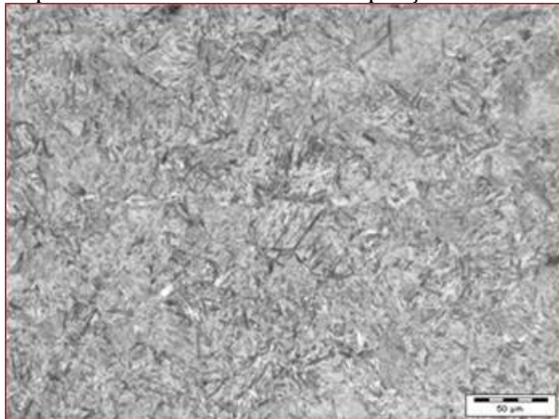
Fonte: Autor

Figura 2b - Corte realizado por plasma com ampliação de 1000x



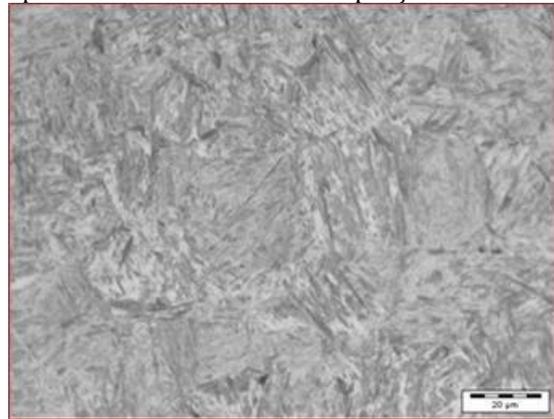
Fonte: Autor

Figura 2c - Corte realizado por plasma apresentando a borda com ampliação de 500x



Fonte: Autor

Figura 2d - Corte realizado por plasma apresentando a borda com ampliação de 1000x



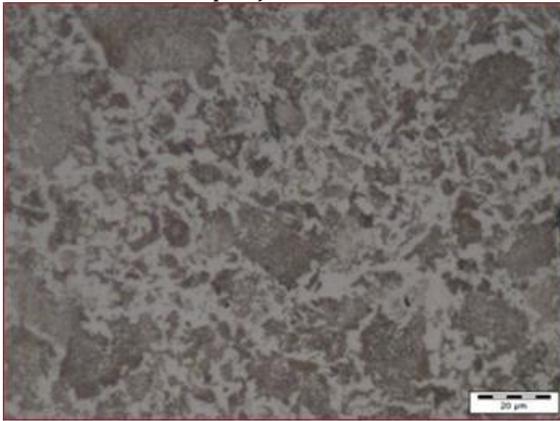
Fonte: Autor

Nas imagens apresentadas nas figuras 2a e 2b, é possível observar a presença de uma matriz ferrítica pró eutetóide representada pelas regiões claras das imagens e o restante perlita, porém é possível identificar também a presença de pequenas regiões esferoidizadas esta focada na figura 2b, pois se consegue observar por pequenas partes redondas na imagem.

Após analisar as imagens da amostra retirada da borda obteve-se a imagem conforme a figura 2c e 2d, nestas imagens são possíveis identificar a presença de uma matriz predominante de martensita.

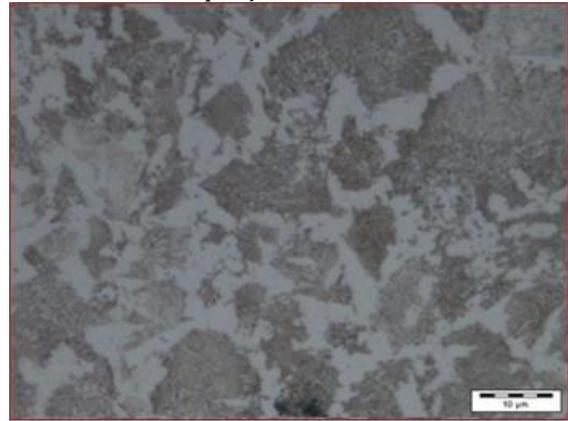
As imagens a seguir apresentam as microestruturas do aço submetido ao corte realizado oxicorte.

Figura 3a - Corte realizado por oxicorte com ampliação de 500x



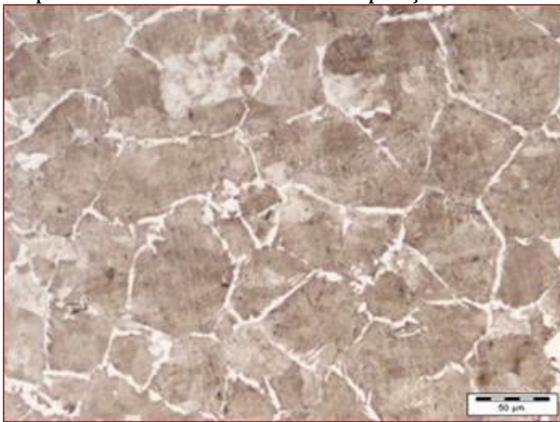
Fonte: Autor

Figura 3b - Corte realizado por oxicorte com ampliação de 1000x



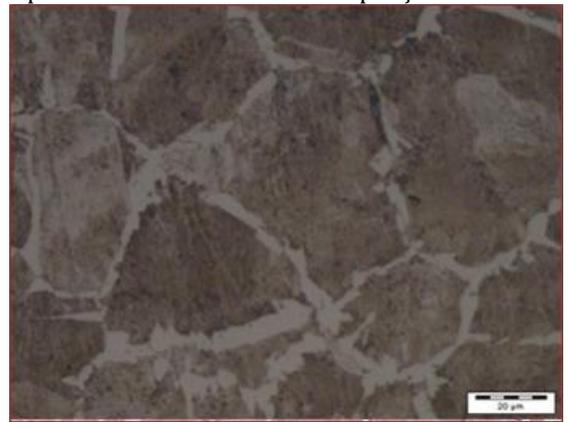
Fonte: Autor

Figura 3c - Corte realizado por oxicorte apresentando a borda com ampliação de 500x



Fonte: Autor

Figura 3d - Corte realizado por oxicorte apresentando a borda com ampliação de 1000x



Fonte: Autor

Ao realizar a análise da amostra cortada pelo processo de oxicorte, observam-se pequenas deformações conforme figura 3a e bem destacada na figura 3b, sabe-se que nos processos de corte e soldagem ocorrem dilatações e causam deformações no metal, uma vez que as regiões próximas ao corte estão em temperaturas ambientes servindo como base para as transformações, com isso é possível explicar essas pequenas deformações micro estruturais e é possível observar também que nas regiões próximas ao corte, encontram-se grãos irregulares e com um tamanho de grão maior se comparado com regiões mais distantes ao corte conforme figura 3c e figura 3d.

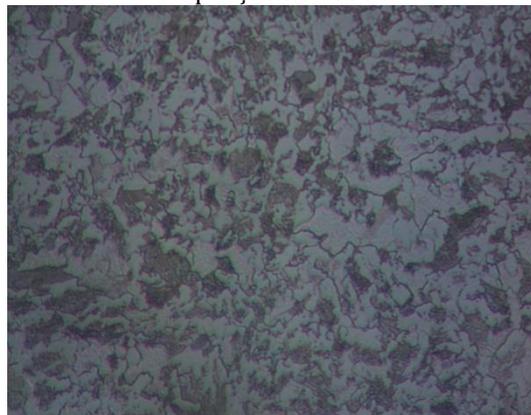
As imagens a seguir são amostras cortadas pelo processo de lixadeira.

Figura 4a - Corte realizado por lixadeira com ampliação de 500x



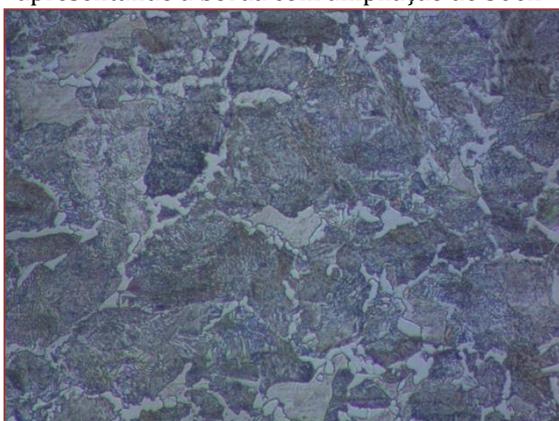
Fonte: Autor

Figura 4b - Corte realizado por lixadeira com ampliação de 1000x



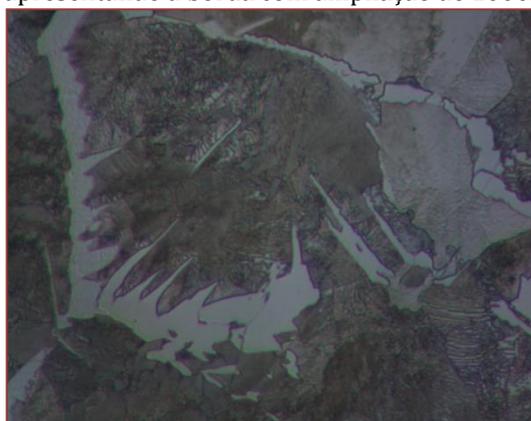
Fonte: Autor

Figura 4c - Corte realizado por lixadeira apresentando a borda com ampliação de 500x



Fonte: Autor

Figura 4d - Corte realizado por lixadeira apresentando a borda com ampliação de 1000x



Fonte: Autor

Nas amostras cortadas pelo processo de lixadeira, obtive uma estrutura parecida com os cortes realizados pelo processo de corte por oxicorte, nas amostras 4a e 4b apresentam a microestrutura da parte de cima da amostra, ou seja, apresentando a influencia do aquecimento, é possível observar que quanto mais próximo ao corte, houve maior crescimento de grão e uma estrutura multifásica contendo ferrita, ferrita Widmannstätten, perlita fina, perlita grossa e pequenos pontos de martensita e bainita enfatizado nas amostras 4c e 4d.

4. DISCUSSÃO

Ao se realizar a análise das microestruturas da amostra cortada pelo processo de plasma, na região do corte, ou seja, na borda, foi possível observar a presença predominante de martensita, porém essa camada ao se analisar na lateral encontra-se uma camada bem fina, esse fenômeno ocorre devido ao fato de o metal ser um forte condutor térmico, por isso como a amostra tem um tamanho considerável, ela conduz a alta temperatura no momento do corte rapidamente para todo o metal, fazendo com que na região da borda (próximo ao corte) se resfriasse muito rápido causando uma estrutura predominante de martensita. Houve pequenos pontos de esferoidização também, este fenômeno pode ocorrer por dois modos um é em condições em que submete o metal a temperatura acima da zona de austenitização por longo tempo, e a outra maneira como a ocorrida nesse metal, é quando há uma oscilação de temperatura próxima à linha A1 do diagrama Fe-C, ou seja, quando a temperatura oscila entre um pouco acima da temperatura de 727°C e um pouco a baixo. Neste caso ocorreu esse fenômeno por que o corte a plasma é um corte bem centralizado, ou seja, ele aquece somente a pequena região onde está ocorrendo o corte, e por meio da condução térmica o metal espalha essa alta temperatura para toda a chapa, porém ele aquece muito e logo em seguida resfria muito rápido também oscilando muito até o final do corte, explicando dessa forma a presença de pequenos pontos de esferoidizações.

Nas imagens obtidas do corte por oxicorte, é possível observar a presença de crescimento de grão, tornando uma estrutura irregular com diversos tamanhos de grãos, sendo que os maiores se encontram próximos à borda do corte, este fenômeno ocorre devido ao aquecimento exagerado, porém não uniforme, ou seja, quanto mais próximo ao corte, o aquecimento é maior no momento do corte, e em seguida um resfriamento lento, com isso, a região próxima ao corte demora um tempo maior para se resfriar em comparação a região mais distante do corte.

No corte realizado por lixadeira, é possível destacar a presença da estrutura ferrita widmannstätten, ela ocorre sob condições controladas, geralmente são formada devido a picos de aquecimento muito elevado e resfriamento lento. Os constituintes da microestrutura do aço pro-eutetóide podem se nuclear nas fronteiras de grão austeníticos, mas não crescer em condições de equilíbrio, devido à diminuição da taxa de difusão do carbono provocado pelo resfriamento, estas condições originam cristais de constituintes de forma acicular que crescem no interior dos grãos austeníticos, formando desta forma esse tipo de ferrita, essa microestrutura começa a se formar através da dendrita do material em temperaturas muito elevadas. Apesar de rara é indesejável encontrar essa microestrutura no material por causa de suas pontas agudas podendo ser um concentrador de tensão gerando trincas no material.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram realizados alguns cortes em chapas de aço de dois materiais diferentes visando apresentar, caracterizar e comparar as estruturas metalográficas decorridos da influência do aquecimento do corte em chapas de aço, para isso, foi utilizado técnicas metalográficas, bem como ataque com reagente químico adequado para que fossem reveladas as estruturas em estudo, desta forma, obteve-se diversas imagens garantindo dessa forma a realização do estudo.

Com a utilização do aço SAE 1045 para a realização deste trabalho, pôde-se observar diferentes microestruturas provenientes dos aquecimentos gerados pelos cortes, Desta forma é notória a aparição de diversas microestruturas diferentes, com estruturas comuns a aços de baixo carbono e até mesmos estruturas dificilmente encontradas em aços comuns, houve também crescimentos de grão devido ao aquecimento excessivo entre muitas outras estruturas. Desta forma, foi possível caracterizar e comparar todas as estruturas encontradas, baseados tanto em literaturas como livros e artigos quanto em conhecimentos e experiência já obtidos entre aluno e orientadores. Com isso, foi possível garantir um objetivo da realização deste trabalho que foca em caracterizar e comparar todas as estruturas encontradas.

REFERÊNCIAS

- [1] CAMPOS, P.R.Z. *et al.* Processo de Corte em Arco Plasma, EEP, Piracicaba. 2010.
- [2] LIMA, E.G. Corte a plasma, Hypertherm, São Paulo. 2009.
- [3] RAMALHO, J.P. Estudo da transferência de calor e modelamento por redes neurais artificiais de variáveis do processo Oxicorte, USP, São Paulo. 2008.

Capítulo 8

Os softwares de realidade virtual para o projeto de arquitetura: Uma análise comparativa¹

Mariana Alves Zancaneli

Icaro Chagas

Frederico Braida

Resumo: Este capítulo aborda o tema da realidade virtual (RV) como uma tecnologia para auxiliar o projeto arquitetônico. Desta forma, discute-se a seguinte questão: quais são as características e as qualidades dos principais softwares de RV voltados ao campo da arquitetura? O objetivo principal é criar um gráfico comparativo entre quatro diferentes programas voltados para a realidade virtual em arquitetura e suas principais características de desempenho e usabilidade. Metodologicamente, este trabalho é resultado de uma revisão de literatura, seguida da análise de quatro softwares de RV destinados à arquitetura. No final, descortina-se uma visão geral da situação atual de um dos componentes importantes para os profissionais da área que desejam usar a tecnologia de RV em seus projetos e que estão verdadeiramente inseridos no contexto da Indústria 4.0. Isso abre novas oportunidades para os arquitetos adicionarem outra maneira de apresentar e comunicar seus projetos e ideias, para que possam ser cada vez mais colaborativos com os envolvidos, buscando melhores resultados e soluções de projeto.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Arquitetura; Projeto; Ambiente Construído; Software.

¹ Este capítulo é um desdobramento do artigo intitulado “Os softwares de realidade virtual para o projeto de arquitetura na era da quarta revolução industrial: uma análise comparativa”, publicado originalmente no II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, realizado em 2019, na Unicamp, em Campinas. Ver Zancaneli *et al.* (2019).

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as tarefas humanas diárias envolvem o uso de variadas tecnologias da informação e comunicação (TIC), sendo, talvez, o computador a mais recorrente. Para Ruschel (2016), as TIC estão presentes em casa, no trabalho, na escola, no lazer e em todo o próprio ato de ser. Segundo a autora, levando em conta essa presença constante das TIC, “o espaço projetado deve incorporar este conceito e propiciar sua apropriação, sendo este mais um complexo requisito de projeto” (RUSCHEL, 2016). Assim, os avanços tecnológicos computacionais vêm impactando a arquitetura há algum tempo. Os computadores estão cada vez mais presentes nos escritórios de arquitetura e encontram-se incorporados ao processo de projeto.

Um panorama bastante amplo da inserção das TIC no contexto da arquitetura e urbanismo pode ser encontrado em Braida et al. (2016). O livro intitulado “101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital” reúne verbetes que dão subsídios para uma compreensão alargada do campo da arquitetura e urbanismo na contemporaneidade, no cenário da era da cultura digital. De acordo com os autores, a revolução digital, ou revolução tecnológica, “traz consigo uma série de conceitos, possibilidades e ferramentas que tem modificado significativamente a maneira de se entender e desenvolver o processo de produção de arquitetura e do urbanismo nos dias de hoje” (BRAIDA et al., 2016, p. 20). Também Zancaneli, Braida e Ferreira (2019) apresentam como as TIC têm influenciado as possibilidades de representação do projeto, o qual, cada vez mais, conta com recursos para a representação realística.

Com o advento da quarta revolução industrial, as relações entre arquitetura e tecnologia tornaram-se ainda mais estreitas (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). Hoje em dia, os nove pilares da Indústria 4.0 – (1) big data e analytics, (2) robôs autônomos, (3) simulação, (4) integração de sistemas, (5) Internet das coisas, (6) cybersegurança, (7) nuvem, (8) manufatura aditiva e (9) Realidade Aumentada (BOSTON CONSULTING GROUP, 2019) – já estão sendo absorvidos também pela indústria da construção civil, configurando uma nova era para a arquitetura.

Cabe destacar que o XXIII Congresso da Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital (SIGraDi), realizado em 2019, na cidade do Porto, em Portugal, em conjunto com o Congresso da Associação Educação e Pesquisa em Projeto Arquitetônico Auxiliado por Computador na Europa (Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe [eCAADe]), teve justamente por tema principal “Arquitetura na Era na Quarta Revolução Industrial” (ver <https://ecaadesigradi2019.arq.up.pt/page/theme/>).

Edifícios automatizados, impressão 3D e passeios virtuais são recursos cada vez mais utilizados por arquitetos. Nesse contexto, o presente capítulo aborda o tema da Realidade Virtual (RV) como ferramenta de auxílio ao projeto arquitetônico (FREITAS; RUSCHEL, 2013; VRIES; ACHTEN, 1998). Com relação aos pilares da Indústria 4.0, a RV está inserida no eixo da simulação, uma vez que, com ela, é possível visualizar ambientes ainda não materializados em um contexto virtual. Segundo Cuperschmid (2016), “em ambientes de ‘realidade virtual’ convencional, os usuários são imersos em um mundo completamente sintético/digital [...]”, possibilitando, dessa forma, que esse experimente o espaço antes mesmo de ele ser construído na realidade.

A tecnologia de RV já existe há décadas (PETRIC; UCELLI; UCELLI, 2002), mas, até recentemente, não havia experimentado avanços suficientes para ser aplicada de forma generalizada (O’CONNELL, 2017). Pode-se dizer que avanços na tecnologia móvel aliados a displays ópticos e ao desenvolvimento da indústria de games, trouxeram a RV para o mainstream (O’CONNELL, 2017; KOBAYASHI; GRASSO; MCDEARMON, 2010). Tendo em vista o crescente uso da RV no campo da arquitetura, algumas empresas vêm desenvolvendo softwares exclusivamente para profissionais da área (GROZDANIC, 2017; SBEGHEN, 2018; ESTUDIO BIM, 2018).

Porém, a ampliação do uso da RV está diretamente relacionada à utilização dos softwares disponíveis no mercado. É nesse sentido que este capítulo discute a seguinte questão: quais as características e qualidades dos principais softwares de RV voltados para o campo da arquitetura? O objetivo principal é criar um quadro comparativo entre quatro diferentes programas voltados para a RV na arquitetura e suas principais características de desempenho e usabilidade.

2. REVISITANDO A NOÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL (RV)

“Realidade virtual” ou “RV” é o termo criado pelo empresário e filósofo Jaron Lanier, em 1989, usado para descrever o conjunto de tecnologias e métodos capazes de permitir a integração sensitiva entre o usuário e o computador, objetivando dar ao participante a máxima sensação de presença no mundo virtual. Em geral, refere-se a uma experiência interativa e imersiva baseada em imagens gráficas tridimensionais geradas por computador em tempo real (BRAIDA, 2005).

Segundo Beier (1999), o termo “realidade virtual” também é usado para aplicações que não são completamente imersivas. Isto inclui desde a navegação controlada pelo mouse através de um ambiente tridimensional em um monitor gráfico, até o visualizador estéreo em um monitor via óculos estéreos, sistemas de projeção estéreos e outros. No entanto, de acordo com Paraizo (2016, p. 170), “realidades virtuais são, em essência, imersivas”.

A origem da RV pode ser atribuída aos simuladores de voo desenvolvidos na década de 1950 pelo exército norte-americano. Tanto o Cinerama, que utilizava várias câmeras de vídeo, quanto o Sensorama, que simulava um passeio multissensorial em uma bicicleta, também foram referências importantes para o desenvolvimento da RV.

Ivan Sutherland é um dos precursores da RV. Ele introduziu o conceito de imersão tridimensional como sendo a inserção de pessoas nos ambientes gerados por computador, ambiente sintéticos, virtuais. Este conceito foi concretizado em 1968, quando Sutherland projetou modelos de fios, chamados wireframes, em uma tela montada em um capacete. Da mesma forma, Nicholas Negroponte produziu, na década de 1970, um mapa virtual da cidade de Aspen, no Colorado. Este capacete foi divulgado para a indústria de periféricos com o nome de Head Mounted Display (HMD). (BRAIDA, 2005).

Desde os anos de 1990, o termo “realidade virtual” tem sido utilizado para uma larga escala de situações em que a simulação da realidade no computador ou a criação de uma realidade específica permite que o usuário interaja com o ambiente virtual. O termo “realidade virtual” passou então a ser utilizado para designar a forma pela qual as pessoas visualizam, manipulam e interagem com computadores e com dados, por vezes, extremamente complexos.

Embora possam parecer contraditórias e paradoxais, quando justapostas as expressões “realidade” e “virtual”, na verdade não o são. “O aparente (e intencional) paradoxo real-virtual, presente no termo, foi satisfatoriamente resolvido por Lévy (1996) [no livro intitulado “O que é o virtual”], ao constatar que o virtual não se opõe ao real, mas ao atual” (PARAIZO, 2016, p. 170). Segundo o Lévy (2003), o real é a materialização do que antes existia apenas no âmbito do “possível”. O possível é tudo o que já está definido, faltando-lhe apenas existir, tornar-se real. Já o atual pressupõe uma dose de criatividade, pois no processo de atualização não ocorre somente a materialização, mas também a inovação resultante da influência das circunstâncias do entorno.

A interatividade proporcionada pela RV é alcançada a partir de duas ideias (PEREIRA; REBELO; TISSIANI, 2000):

- 1) ideia de integração: capacidade do computador de detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa);
- 2) ideia de envolvimento: grau de motivação para engajamento de uma pessoa com determinada atividade.

O tipo de envolvimento do usuário com as imagens dinâmicas pode ser dividido em dois grupos: (1) envolvimento passivo (como o de ler um texto ou assistir a um vídeo convencional); (2) envolvimento ativo (quando o usuário participa de um vídeo). O tipo de envolvimento corresponde à forma de exploração de um ambiente virtual, que pode ser não-imersiva ou imersiva.

As formas não-imersivas, amplamente utilizadas em jogos e na manipulação de maquetes eletrônicas via internet, têm como vantagem o baixo custo do equipamento e a facilidade de acesso em qualquer tipo de computador, tal como uma máquina de médio porte e monitor, teclado e mouse para a entrada de dados.

A RV imersiva ou semi-imersiva proporciona uma maior amplitude de aplicações. São criadas aplicações cuja intensidade sensorial possibilita uma experimentação total do ambiente virtual. Incluem-se, neste aspecto, fatores sensoriais de temperatura, tato e deslocamento. Utilizando capacetes de realidade virtual (Head Mounted Displays), luvas (data gloves), BOOM (Binocular omni-orientation monitor) ou CAVE (Cave Automated Virtual Environment), dentre outros equipamentos de imersão, tem-se uma integração do usuário com o ambiente virtual.

Sherman e Judkins (1992 apud GRILLO et al., 2001) apresentaram as seguintes características para a RV: intensiva, interativa, imersiva, ilustrativa e intuitiva. Como se vê, são diversas as características da RV, as quais possibilitam diferentes graus de imersão. É por meio da RV, que, durante muito tempo, pode-se pensar na inserção dos usuários dentro das interfaces, nas imersões nos ambientes virtuais. Nesse caso, a experiência que o usuário tem

de estar diante de um monitor não é igual àquela proporcionada pela televisão (tradicional), já que, no computador, ele participa efetivamente da estruturação da imagem e obtém respostas imediatas do sistema.

Hoje em dia, embora a noção de realidade virtual ainda esteja presente e faça sentido, diversos desdobramentos têm se apresentado como novas possibilidades: a realidade aumentada e a realidade mista.

3. METODOLOGIA

Este capítulo é resultado de uma pesquisa exploratória, de caráter qualitativo, ainda que tenha por objetivo estabelecer comparações entre quatro softwares de RV. Tratou-se tanto de uma pesquisa teórica, bibliográfica, quanto pragmática, posto que foram realizadas experimentações (testes) com os softwares selecionados.

Do ponto de vista procedimental, a pesquisa foi dividida em cinco etapas principais:

- 1) levantamento e seleção dos softwares a serem analisados;
- 2) modelagem do ambiente virtual utilizado nas análises;
- 3) estabelecimento dos critérios de avaliação;
- 4) desenvolvimento dos testes e das análises; e
- 5) comparações e discussão dos resultados.

Na primeira etapa, a partir de uma revisão de literatura e buscas em sites de fabricantes, pode-se chegar a 11 softwares de RV frequentemente utilizados no campo da arquitetura:

- 1) ARki;
- 2) Storyboard VR;
- 3) Pair;
- 4) SmartReality;
- 5) Fuzor;
- 6) Enscape;
- 7) Insite VR;
- 8) Twinmotion;
- 9) Revizto;
- 10) IrisVR (Prospect); e
- 11) Revit Live.

Dentre esses 11 softwares, foram selecionados quatro para serem comparados. Foram escolhidos os softwares que disponibilizavam uma versão gratuita para testes e que fossem compatíveis com mais de um software utilizado em arquitetura. Assim, os softwares selecionados foram:

- 1) Enscape;
- 2) InsiteVR;
- 3) Twinmotion; e
- 4) IrisVR (Prospect).

Na segunda etapa, para a avaliação dos softwares, foi modelado um ambiente interno de, aproximadamente, 76m² em SketchUp. Ele possui uma abertura para entrada de luz natural e alguns pontos de iluminação artificial, a fim de testar as possibilidades dos softwares quanto à iluminação (Figura 1). Também foram empregados materiais como madeira, porcelanato, vidro, cerâmica, tinta para paredes, espelho e metais, a fim de permitir análises do realismo e do nível de edição que o software permite (Figura 2).

Figura 1 - Planta baixa humanizada. Sem escala.



Figura 2 - Perspectiva do ambiente modelado em SketchUp e renderizado com V-Ray. Sem escala.



Na terceira etapa foram estabelecidos os critérios de avaliação. Nas análises empreendidas, os autores se colocaram na posição de intérpretes, atentando-se para o rigor necessário à pesquisa científica, tal como preconizado por Santaella (2002). Os critérios de avaliação utilizados na análise foram baseados em observações dos autores ao terem o primeiro contato com os programas. Os pontos considerados relevantes para a análise foram:

- 1) a usabilidade (manuseio da interface);
- 2) a interoperabilidade com softwares comuns na arquitetura (quantidade de softwares compatíveis e sua relevância na área);
- 3) o custo do programa (planos para aquisição);
- 4) o nível de imersão (o quanto o usuário se sente “dentro” do ambiente virtual);
- 5) o grau de interatividade (percursos e ações permitidas);
- 6) o nível de realismo (detalhes dos materiais e iluminação próxima à realidade);
- 7) a interoperabilidade com o Head Mounted Display (HMD); e
- 8) a interoperabilidade com o controle (dispositivos de saída necessários para a experiência em RV).

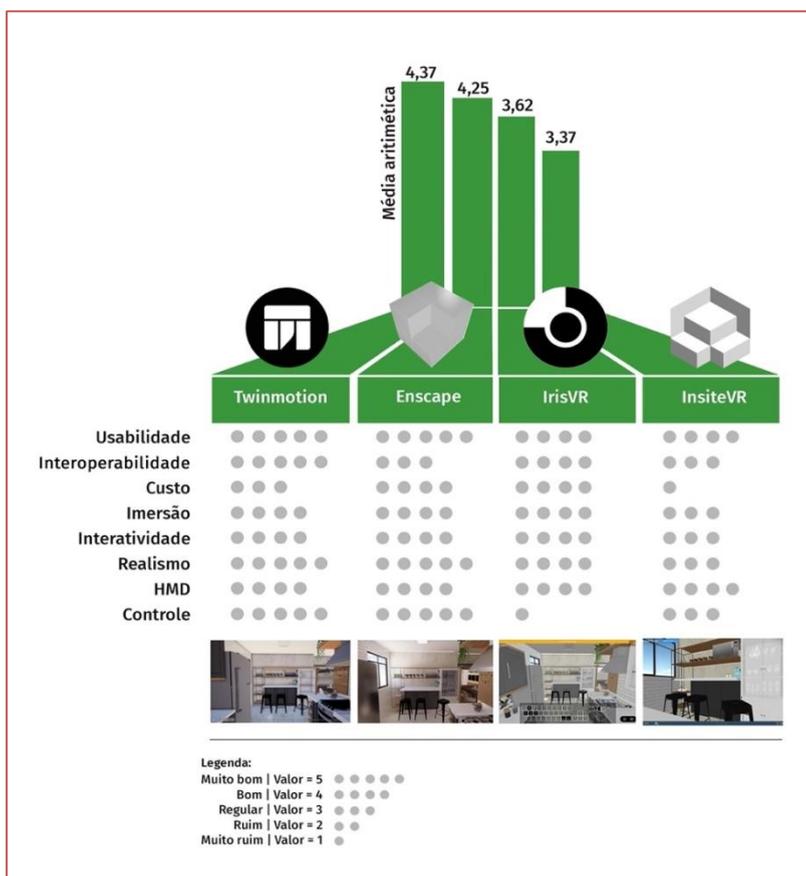
Para avaliar a usabilidade, foi utilizado o método da avaliação heurística de Nielsen (1995), adaptada por Pimentel, Dias e Santos (2008). As medições foram feitas através do método da Escala de Likert, variando entre “muito ruim” e “muito bom”. Ao final, foi feita uma média aritmética das 10 heurísticas para cada software, a fim de classificá-los quanto ao quesito usabilidade. O mesmo método foi utilizado para obter a classificação geral dos softwares.

Ressalta-se que, nos testes, foram utilizados um computador (desktop) com alta capacidade de processamento (Windows 10, processador Intel Core i7-6700K, placa de vídeo Nvidia GTX 1070, memória RAM 32gb), o HMD Multilaser Warrior JS080, um smartphone com giroscópio (Asus Zenfone 3), o aplicativo para dispositivos móveis Trinus CBVR Lite, que, juntamente com o programa para computadores Trinus Cardboard, permite o espelhamento do monitor do computador para a tela do smartphone, via Wifi ou USB e o controle PlayStation 3 Dual Shock. Os testes foram realizados durante o mês de janeiro de 2019.

4. RESULTADOS

Após o uso e análise dos quatro softwares (Enscape, InsiteVR, Twinmotion e IrisVR (Prospect)), foi possível chegar aos resultados apresentados no Quadro 1:

Quadro 1: Quadro comparativo entre os softwares Enscape, InsiteVR, Twinmotion e IrisVR (Prospect).



Os programas obtiveram conceitos semelhantes no quesito usabilidade, sendo relativamente fáceis de usar por pessoas que já possuem experiências com softwares de Arquitetura, como SketchUp e Lumion.

Quanto à interoperabilidade com os programas usualmente adotados por arquitetos, o software Twinmotion se destacou por apresentar interoperabilidade com diversos formatos de arquivos, prometendo suportar modelos 3D de quase todos os programas de modelagem do mercado (TWINMOTION, 2019). Nota-se que os softwares SketchUp e Revit são os únicos compatíveis com os quatro softwares utilizados.

No que se refere ao investimento financeiro que os arquitetos deverão fazer para adquirir os softwares (custo), há uma grande variação. O mais barato é o Enscape (US\$ 449,00 por ano e por usuário) e o mais caro é o InsiteVR

(US\$ 3.300,00 por ano para usuários ilimitados). O software IrisVR possui um custo de US\$ 600,00 por ano, por usuário, em sua versão mais básica, obtendo a mesma nota que o Enscape pelos valores serem próximos, quando comparados aos demais.

Quanto à imersão, a experiência foi considerada boa, em sua maior parte, uma vez que é possível o isolamento das referências externas (com exceção da visualização de pequenas bordas do smartphone), permitindo ao usuário que se concentre no modelo apresentado.

No que se refere à interatividade, não foi possível utilizar o movimento da cabeça para visualizar o modelo, sendo necessário controlá-lo através do controle ou teclado do computador. Além disso, não é possível controlar ações como abrir portas ou acender luzes, mas o usuário é capaz de alterar a hora do dia em quase todos os programas (com exceção do InsiteVR).

O nível de realismo é grande em softwares como o Enscape e Twinmotion, onde o arquiteto é capaz de controlar várias configurações de materiais e iluminação, a fim de tornar as características do modelo mais parecidas com o comportamento de seus componentes na realidade.

No que diz respeito à interoperabilidade com o HMD, todos possuem funcionalidades de ligação imediata aos dispositivos Oculus Rift e HTC Vive. Um ponto negativo é o fato de nenhum dos programas serem compatíveis diretamente com os HMD que utilizam o sistema Cardboard, que constituem soluções mais acessíveis financeiramente.

Por fim, todos se mostraram altamente compatíveis com controles de videogames, sendo possível executar as principais funções do percurso virtual através desses dispositivos, à exceção do IrisVR (Prospect), onde o controle utilizado não apresentou funcionamento.

5. DISCUSSÃO

É necessário ressaltar que, apesar de todos os programas terem um objetivo em comum, é notável que os softwares Enscape e Twinmotion estão mais vinculados à apresentação de projetos, enquanto InsiteVR e IrisVR (Prospect) são mais voltados para reuniões com multiusuários.

Pode-se dizer que o Twinmotion se apresentou como o programa mais bem preparado para a utilização da RV por arquitetos, devido à quantidade de avaliações “muito bom”. O programa mostrou-se bastante completo no que diz respeito à grande quantidade de formatos aceitos de modelagens 3D, além de possuir muitas opções para a edição do modelo. É possível encontrar 20 categorias diferentes de materiais, além de uma vasta biblioteca de vegetações, mobiliários, luzes, pessoas e veículos. O software Enscape é bastante similar nesses aspectos, com a diferença de ser um plugin (não é necessário fazer a importação do modelo) e de suportar poucos softwares que, no entanto, estão entre os mais utilizados na área (Revit, SketchUp, Rhinoceros e ArchiCAD).

O software InsiteVR foi o que recebeu mais avaliações neutras ou “muito ruim”, mostrando-se como o programa que necessita de mais ajustes. Apesar de ter apresentado o pior desempenho dentre os quatro programas analisados, o InsiteVR, assim como o IrisVR (Prospect), possui um ambiente virtual pronto para receber vários usuários interagindo com o modelo ao mesmo tempo, sendo possível fazer anotações e marcações em tempo real, as quais podem ser salvas para posterior avaliação por parte dos usuários, seja ele arquiteto, cliente ou construtor.

De maneira geral, pode-se dizer que os programas de RV para arquitetura disponíveis no mercado e analisados na pesquisa apresentada neste capítulo possuem um bom desempenho, atingindo seus objetivos, uma vez que é possível transformar um modelo 3D em um ambiente de RV em poucos passos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos quatro softwares de RV, voltados exclusivamente para o uso de arquitetos e profissionais da construção civil, possibilita que se descortine um panorama da situação atual de um dos componentes importantes para os profissionais da área que queiram usar a tecnologia de RV em seus projetos, e que estejam verdadeiramente inseridos no contexto da quarta revolução industrial. Pode-se concluir, a princípio, que softwares como Twinmotion e Enscape podem ser facilmente incorporados pelos arquitetos, sendo, talvez, o custo uma das maiores barreiras para o uso mais frequente desse tipo de tecnologia.

Como sugestão de pesquisas futuras, aponta-se a ampliação do número de softwares a serem comparados, podendo incluir, nas análises, os processos de comunicação entre projetistas e clientes.

Finalmente, destaca-se que a RV para projetos de arquitetura participa da quarta revolução industrial enquanto tendência que vem progressivamente afetando a maneira como os arquitetos trabalham, proporcionando projetos mais colaborativos e imersivos, possibilitando a visualização de importantes elementos da construção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROPP/UFJF), além do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de iniciação científica. Os autores também agradecem à Dra. Isabela de Mattos Ferreira, pelas relevantes contribuições para o desenvolvimento deste capítulo.

REFERÊNCIAS

- [1] BEIER, Klaus-Peter. Virtual reality: a short introduction. 1999. Virtual Reality Laboratory, University of Michigan, College of Engineering. Disponível em: <http://www-VRL.umich.edu>. Acesso em: 5 maio 2000.
- [2] BOSTON CONSULTING GROUP. Embracing industry 4.0 and rediscovering. 2019. Disponível em: <https://www.bcg.com/pt-br/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-rediscovering-growth.aspx>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- [3] BRAIDA, Frederico. Arquitetura virtual: contribuições e relevância para a melhoria do espaço de aquisição e produção coletiva do conhecimento (acesso à informação) e para o ensino a distância mediado por computador (e-learning) de artes, arquitetura e urbanismo. 2005. 182 f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2005. Disponível em: https://www.ufjf.br/frederico_braida/files/2011/02/MONOGRRAFIA-TFG-1-Frederico-Braida.pdf. Acesso em: 12 dez. 2020.
- [4] BRAIDA, Frederico; LIMA, Fernando; FONSECA, Juliane; MORAIS, Vinicius. 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: ProBooks, 2016.
- [5] CUPERSCHMID, Ana. Realidade Aumentada. In: BRAIDA, Frederico; LIMA, Fernando; FONSECA, Juliane; MORAIS, Vinicius. 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: ProBooks, 2016. cap. 80, p. 168-169.
- [6] ESTÚDIO BIM. 7 melhores softwares de realidade virtual para arquitetura em 2018. 2018. Disponível em: <http://www.estudiobim.com.br/7-melhores-softwares-de-realidade-virtual-para-arquitetura-em-2018/>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- [7] FREITAS, Márcia Regina de; RUSCHEL, Regina Coeli. What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, 18., 2013, Hong Kong. Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia... Hong Kong: CAADRIA, 2013. p. 407-416. Disponível em: http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2013_043.content.pdf. Acesso em: 21 dez. 2018.
- [8] GRILLO, Leonardo; MONICE, Simone; SANTOS, Eduardo T.; MELHADO, Silvio. Possibilidades de aplicação e limitações da realidade virtual na arquitetura e na construção civil. 2001. Universidade Federal de São Paulo. Disponível em: https://www.academia.edu/18168494/Possibilidades_de_aplicacao_e_limitacoes_da_realidade_virtual_na_arquitetura_e_na_construcao_civil?auto=download. Acesso em: 15 dez. 2020.
- [9] GROZDANIC, Lidija. Os 5 melhores aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada para arquitetos. 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/878548/os-5-melhores-aplicativos-de-realidade-virtual-e-realidade-aumentada-para-arquitetos>. Acesso em: 3 jan. 2019.
- [10] KOBAYASHI, Yoshihiro; GRASSO, Christopher; MCDEARMON, Michael. World 16: Innovation and collaboration in VR technology. In: ECAADE, 28., 2010. Future cities: 28th eCAADe Conference Proceedings, 593-603. Zurich, Switzerland: ETH Zurich, 2010. Disponível em: https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2010_156.content.pdf. Acesso em: 22 jan. 2019.
- [11] LEAL, Bianca; SALGADO, Mônica; SILVOSO, Marcos. Impact of fourth industrial revolution in Architecture undergraduate course. In: ZEMCH INTERNATIONAL CONFERENCE, 29., 2018, Austrália. Proceedings do 29th ZEMCH international conference. Melbourne: ZEMCH, 2018. p. 1-126. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323003640_Impact_of_Fourth_Industrial_Revolution_on_Architecture_Undergraduate_Course. Acesso em: 29 jan. 2019.
- [12] LÉVY, Pierre. O que é o virtual? São Paulo: Ed. 34, 2003.
- [13] NIELSEN, Jakob. 10 usability heuristics for user interface design. 1995. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Acesso em: 8 jan. 2019.
- [14] O'CONNELL, Kim A. Quatro dicas para começar a usar realidade virtual na arquitetura. 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/802736/quatro-dicas-para-comecar-a-usar-realidade-virtual-na-arquitetura>. Acesso em: 29 jan. 2019.

- [15] PARAIZO, Rodrigo Cury. Realidade virtual. In: BRAIDA, Frederico; LIMA, Fernando; FONSECA, Juliane; MORAIS, Vinicius. 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: ProBooks, 2016. cap. 80, p. 170-171.
- [16] PEREIRA, Alice T. Cybis; REBELO, Irla Bocianoski; TISSIANI, Gabriela. Design de interfaces para ambientes virtuais: como obter usabilidade em 3D. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 4., 2000, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: UFRJ, 2000.
- [17] PETRIC, Jelena; UCELLI, Giuliana; UCELLI, Giuseppe. Real Teaching and Learning through Virtual Reality. ECAADE, 20., 2002. Proceedings of the 20th eCAADe Conference Proceedings, 72-79. Warsaw, Poland: Warsaw University of Technology, 2002. Disponível em: <https://cumincad.architecturez.net/system/files/pdf/f1a5.content.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- [18] PIMENTEL, Ângela; DIAS, Paulo; SANTOS, Beatriz Sousa. Avaliação de Usabilidade em Sistemas de Realidade Virtual e Aumentada: principais métodos. Revista do DETUA, [s. l.], v. 9, n. 4, p.1-9, jun. 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/34243463/Avalia%C3%A7%C3%A3o_de_Usabilidade_em_Sistemas_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada_principais_m%C3%A9todos. Acesso em: 8 jan. 2019.
- [19] RUSCHEL, Regina. TIC (tecnologia da informação e comunicação). In: BRAIDA, Frederico; LIMA, Fernando; FONSECA, Juliane; MORAIS, Vinicius. 101 conceitos de arquitetura e urbanismo na era digital. São Paulo: ProBooks, 2016. cap. 98, p. 203-204.
- [20] SANTAELLA, Lucia. Semiótica Aplicada. São Paulo: Cengage Learning, 2002.
- [21] SBEGHEN, C. Ferramenta de VR converte ideias preliminares em espaços na escala 1:1. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/894162/ferramenta-de-vr-converte-ideias-preliminares-em-espacos-na-escala-1-1>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- [22] TWINMOTION. Real-time architectural visualization, 3D immersion and VR exploration. 2019. Disponível em: <https://twinmotion.abvent.com/en/>. Acesso em: 18 jan. 2019.
- [23] VRIES, de Bauke; ACHTEN, Henri. What offers virtual reality to the designer? In: BIENNIAL WORLD CONFERENCE ON INTEGRATED DESIGN & PROCESS TECHNOLOGY, 3., 1998. Proceedings [...]. Berlin, Germany. 1998. Disponível em: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/1470132/Metis121566.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- [24] ZANCANELLI, Mariana A.; BRAIDA, Frederico; FERREIRA, Isabela M. Paradoxos das imagens fotorrealísticas e representação arquitetônica. VIRUS, São Carlos, n. 19, 2019. Disponível em: <http://www.nomads.usp.br/virus/virus19/?sec=5&item=103&lang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- [25] ZANCANELI, Mariana; CHAGAS, Icaro; BRAIDA, Frederico; FERREIRA, Isabela de Mattos. Os softwares de realidade virtual para o projeto de arquitetura na era da quarta revolução industrial: uma análise comparativa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC. p. 1-6. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347513939_Os_softwares_de_realidade_virtual_para_o_projeto_de_arquitetura_na_era_da_quarta_revolucao_industrial_uma_analise_comparativa. Acesso em: 20 dez. 2020.

Capítulo 9

Representação gráfica: Ensino de desenho geométrico com instrumentos e CAD na engenharia

Evandro Cardozo da Silva

Resumo: Tivemos grandes avanços recentes na engenharia com a evolução dos recursos de sistemas CAD (Computer-Aided Design). Defende-se a importância do uso do esboço e instrumentos de desenho de prancheta para transição do uso absoluto de CAD e as ferramentas de engenharia relacionadas (CAE - Computer-Aided Engineering Computer e CAM-Computer-Aided Manufacturing) que são a base para integração tecnológica da indústria 4.0. Pela herança milenar do desenho geométrico (DG) podemos iniciar este processo tão rico e abrangente que acompanha decisivamente a história da humanidade e influenciou no seu crescimento e no bem produzido com o uso inteligente de seus recursos e consequente evolução da sociedade. A experiência prática em empregar CAD de aulas de desenho no Departamento de Engenharias da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina, que sustenta cinco cursos de engenharia veicular (Automotiva, Aeroespacial, Ferroviária e Metroviária, Naval e Mecatrônica) bem como na área civil (Engenharia de Transporte e Logística e Engenharia de Infraestrutura), representam uma grande oportunidade de inovar ou buscar a excelência no ensino de desenho de engenharia que pode ser sustentável quando atende a formação acadêmica para uma nova revolução industrial.

Palavras-chave: Representação Gráfica. Desenho Geométrico. CAD. Indústria 4.0.

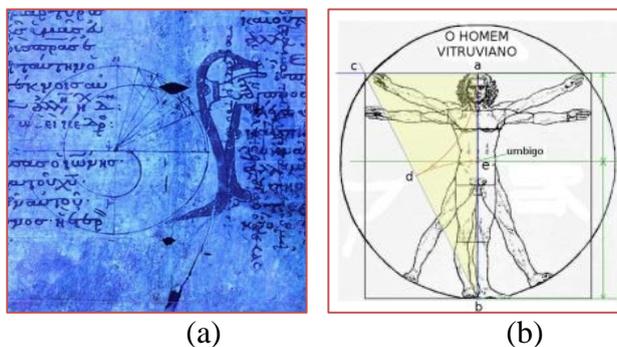
1. INTRODUÇÃO

O ensino de desenho tem um papel importante para a formação de engenheiros para uma indústria 4.0 (quarta revolução industrial) que se fundamenta em tecnologia digital (sistemas ciber-físicos). Os conceitos da representação gráfica são essenciais do desenho de engenharia e seu ensino é base para uso adequado de recursos tecnológicos atuais. O melhor aproveitamento das ferramentas computacionais está em desenvolver a habilidade da representação em esboço a mão livre e com uso de instrumentos de desenho a capacidade de representar o esboço e chegar ao modelo geométrico 3D e adoção de normas técnicas (ABNT) precisas em programas de modelagem.

O uso de CAD (Desenho Auxiliado por Computador) tem sido indispensável no desenvolvimento de projetos de engenharia. A grande evolução de hardware e software demanda aprendizagem de ferramentas para atividade profissional que busca na representação gráfica adequada o desenvolvimento tecnológico. O uso adequado de CAD se sustenta nos conceitos fundamentais de desenho, como: Desenho Geométrico (DG), Geometria Descritiva (GD) e Desenho Técnico (DT) (SILVA, 2011).

O DG é a base fundamental para o entendimento dos fundamentos da representação gráfica e essencial no ensino de desenho na engenharia e uso recursos tecnológicos atuais. Para um conhecimento que se tem registro a mais de 2000 anos, se molda dedutiva na Grécia antiga como trabalhos de Arquimedes (Figura 1a) com os grandes filósofos, pensadores e matemáticos (Sócrates, Platão, Aristóteles, Pitágoras), que muito sintetiza hoje o conhecimento técnico da representação gráfica que Leonardo da Vinci desenvolveu na Renascença (Figura 2a). Grande impulso que revolução industrial e os conflitos mundiais trouxeram para o desenho técnico e garantia de projeto e fabricação de máquinas e equipamentos que facilitaram a vida das pessoas. Propomos com este trabalho abordar de forma separada o DG e a GD e posterior reportar a experiência de fato do CAD no DT com maestria. Pelo reduzido tempo de abordagem de conteúdos essenciais na formação de engenheiros torna necessário antecipar os fundamentos do uso de CAD concomitantemente com os conceitos do desenho de engenharia. O uso da internet como ferramenta de busca de informações tem auxiliado no complemento do que se vê em sala de aula restrito pelo tempo.

Figura 1 – Representação gráfica na história da humanidade: (a) Espiral de Arquimedes; (b) Homem Vitruviano.



Fonte: El Comercio (2018) e Leonardo Interactivo (2018).

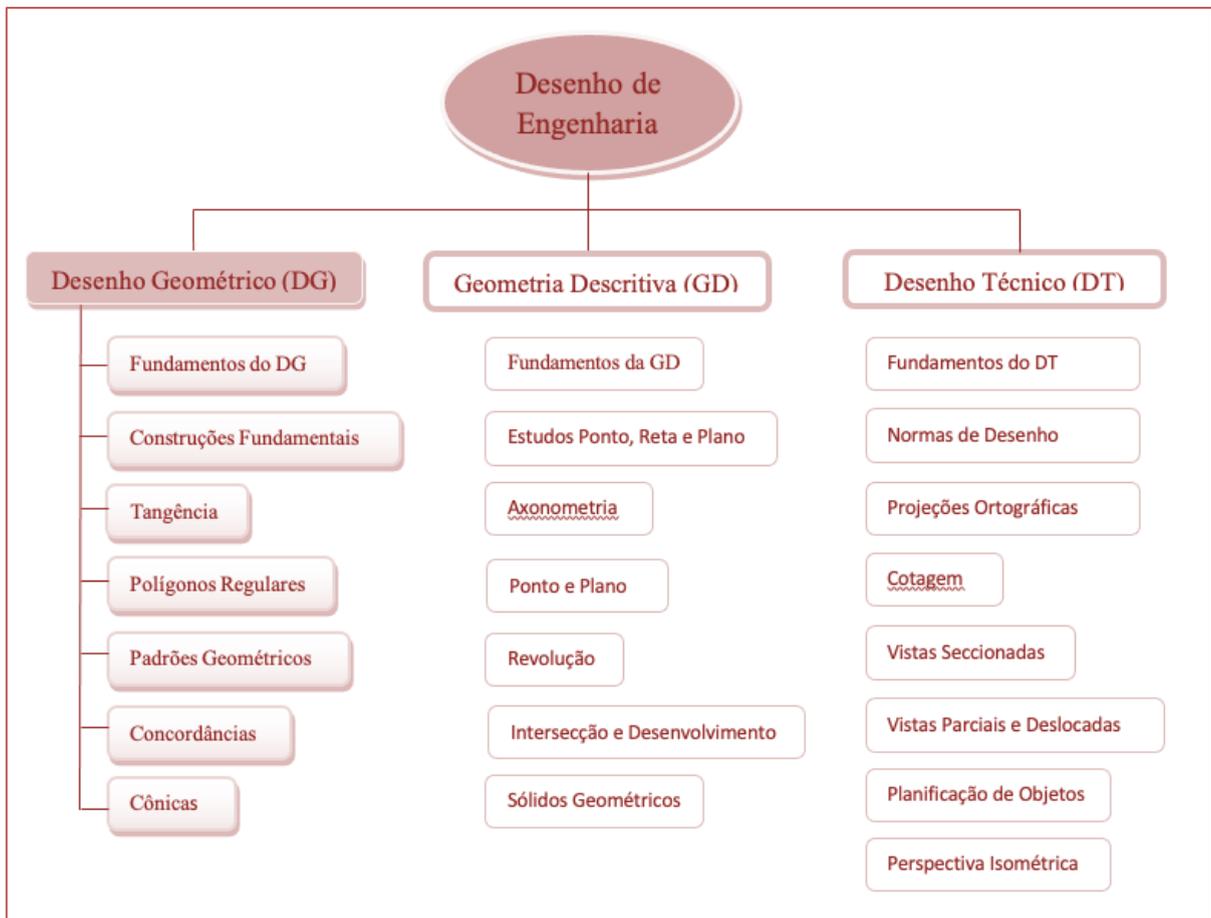
2. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

Representação Gráfica do desenho de engenharia é a linguagem mais completa para o projeto de engenharia na visualização, comunicação e documentação. Representa 92% do sistema de projeto na engenharia e os outros 8% se dividem na matemática e comunicação verbal e escrita (BERTOLINI e WIEBE, 2006). Baseamos a abordagem do desenho de engenharia pela proposta de representação gráfica (Figura 2) que permanece a forma mais efetiva para a comunicação de conceitos de engenharia, de um passado remoto ao estágio atual da indústria 4.0. Sistemas produtivos nas indústrias 4.0 ainda se baseiam em conceitos tradicionais e modernos de projeto quando se forma profissionais com domínio de ferramentas, fundamentos gráficos, padrões e normas de desenho de engenharia (ABNT, 2018).

Para resolver problemas de engenharia e se comunicar graficamente é compreender a importância dos fundamentos da representação gráfica e ter desenvoltura no manejar ferramentas modernas na prática profissional. A proposta é fazer uma releitura e atualização dos domínios atuais que compreendem o estado da arte na representação gráfica e que define os fundamentos para o uso de um sistema CAD adotado (SolidWorks®). Abordar conceitos de desenho geométrico (DG) com desenho a mão e instrumentos como

preparação no desenho 2D para o uso adequado de CAD e sua integração com o projeto produzindo modelagem solida 3D.

Figura 2. Mapa Conceitual de Representação Gráfica (Desenho de Engenharia).



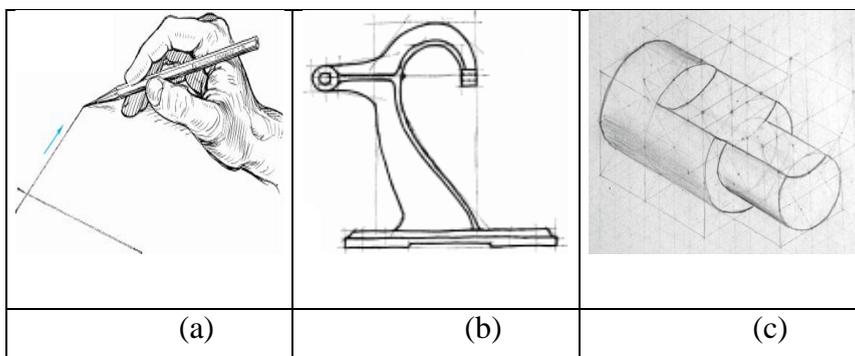
Fonte: Autor (2018).

2.1. DESENHO A MÃO LIVRE

Podemos rapidamente trocar ideias no projeto de engenharia usando técnicas de esboço a mão livre como instrumento de desenvolver a habilidade de visualização na engenharia (GIESEKE, 2002). Em função da mudança da comunicação da informação técnica na forma gráfica se adota um sistema CAD mas que não pode preceder o aprendizado do desenho de esboço. A mais de 20 anos se constata uma transição entre gerar a ideia inicial no papel através do esboço a mão livre e o uso concomitante do CAD para a formação de técnicos e engenheiros (BESTERFIELD & HOGAN, 1997).

O desenho de esboço precisa apenas de papel e lápis (Figura 3a). O lápis com diferentes durezas garantem a diferença do traçado de linha que é a base para a comunicação técnica do desenho. O papel como material do esboço pode ser usado com padrão impresso de quadriculado e isométrico ou com guias com estas duas configurações. Isto pode garantir uma precisão na aprendizagem do desenho de vistas (projeções ortográficas) (Figura 3b) e da representação de perspectiva isométrica (Figura 3c).

Figura 3. Esboço a mão livre: (a) traçado de linhas; (b) projeção ortográfica e (c) perspectiva isométrica.



Fonte: Giesecke (2002) e Autor (2018).

2.2. DESENHO COM INSTRUMENTOS

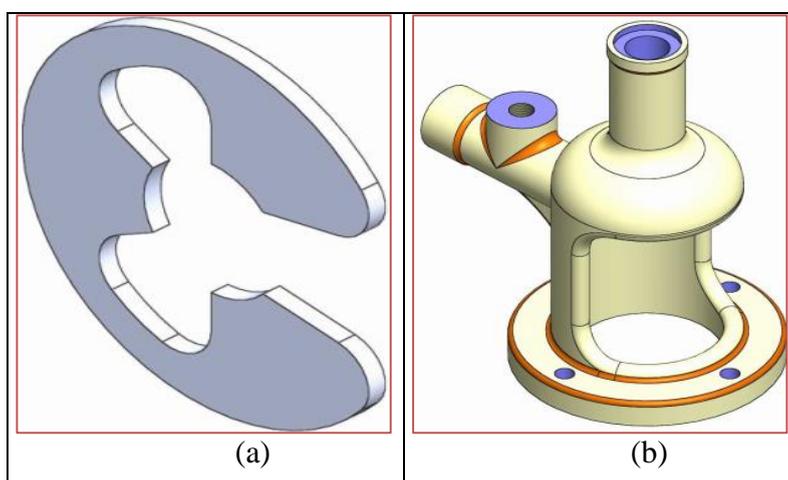
Embora todo o desenho do projeto pode ser diretamente desenvolvido no CAD pelo engenheiro, isto representa um risco, pois neste sistema as ideias nem sempre são desenvolvidas a contento.

O uso adequado de instrumentos de desenho desenvolve a habilidade de representar através do desenho técnico com precisão peças e conjuntos que formam o projeto de engenharia. A aprendizagem do desenho técnico para a formação de engenheiros é indispensável para que as ideias e os projetos desenvolvidos possam ser fabricados com precisão.

2.3. DESENHO NO CAD

As geometrias geradas no CAD seguem a sequência lógica para a construção de peças e baseia-se na escolha de um plano para criar o esboço 2D (DG), na sequência a forma geométrica principal da peça que se representa com entidades de esboço disponíveis. No sistema CAD se pode criar com geometria 3D com precisão (GD) (Figura 4) que são interpretadas e processadas para máquinas ferramentas CNC que representam integração tecnológica da indústria 4.0 para aumento da eficiência de processos de manufatura.

Figura 4. Representação de peça em um sistema CAD: (a) geometria plana e (b) 3D.



Fonte: Autor (2018) (b) adaptado de Soto (1965).

3. DESENHO GEOMÉTRICO (DG)

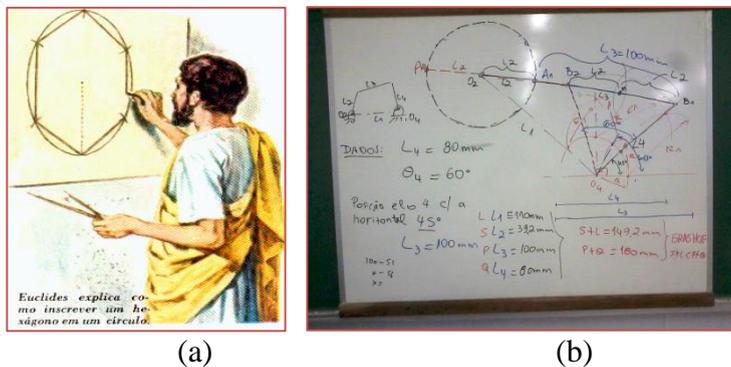
O Desenho Geométrico é um capítulo da Geometria que, com o auxílio de dois instrumentos, a régua e o compasso, se propõe a resolver graficamente problemas de natureza teórica e prática. Conseguir uma técnica e precisão construtiva de maestria através da marcha racional de construção, segundo Carvalho (1970), deveria ser o desenvolvimento natural de uma sequencia de raciocínio matemático.

O uso de recursos para o ensino de desenho tem se modificado com o desenvolvimento tecnológico e indica a necessidade do emprego de novas abordagens didáticas. Adota-se os mais variados recursos no desenho como régua e compasso de madeira para traçar em lousa branca (SILVA, 2011). Esta prática foi utilizada na representação da síntese de mecanismos no quadro e validada em um sistema CAD (SILVA, 2016). Atualmente se adota o traçado a mão livre e a representação projetada do uso de um sistema CAD (SolidWorks®) observando as etapas da resolução de construção geométrica como é ilustrado neste trabalho.

3.1. FUNDAMENTOS DO DG

A origem da geometria, segundo o grego Heródoto (V a.C.), se deve a necessidade de demarcar as terras (tarefa dos primeiros agrimensores) a margem do rio Nilo no Egito e para Aristóteles se deve a classe sacerdotal do Egito. Como ciência dedutiva é na Grécia antiga que tem seu maior crescimento com a obra de Euclides (300 a.C.) “Os Elementos”. Conhecer a história é reconhecer a influência da geometria na matemática e consequente aplicação na engenharia. Abordando a lógica imutável do desenho geométrico, referenciando-se os principais pensadores e suas soluções para problemas de geometria, resgata a grande contribuição que também gregos como Tales de Mileto (600 a.C.), Pitágoras, Arquimedes, Apolônio, todos influenciados pelas grandes obras da civilização egípcia. O trabalho dos gregos aos tempos modernos representam a geometria e o desenho como melhor forma de ensino, demonstrando a solução de seus problemas expondo primeiro no quadro (Figura 5).

Figura 5. Representação de desenho geométrico com uso de régua e compasso: (a) Euclides e (b) lousa branca.

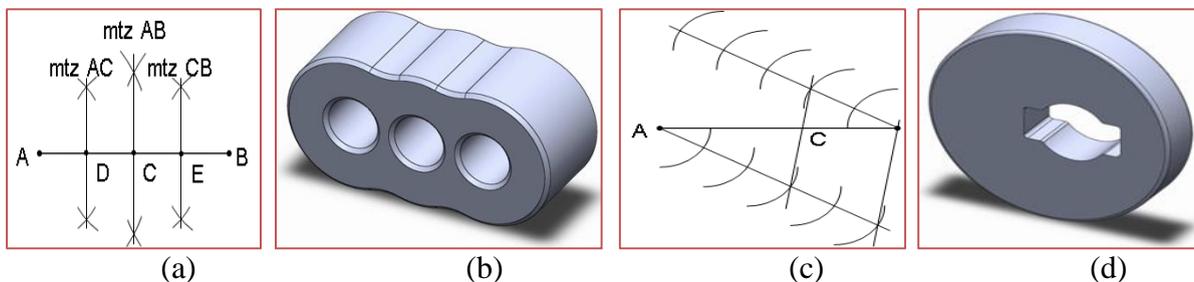


Fonte: Euclides (2018) e Silva (2016).

3.2. CONSTRUÇÕES FUNDAMENTAIS

Os conceitos de construção de elementos geométricos básicos são fundamentais para o desenho com instrumentos e CAD. Conceitos como ponto, linhas, ângulos, triângulos, quadriláteros, polígonos, círculos e arcos são usados em sistemas CAD como ferramentas de esboço, para criar geometria do perfil do objeto a ser modelado. No CAD é fácil encontrar o ponto médio de uma reta. Já com instrumentos de desenho, devo empregar construções geométricas. Usando régua e compasso e conhecendo as propriedades e sequencia de operações, posso traçar a mediatriz de um segmento ou arco definido, traçar retas perpendiculares, traçar retas paralelas, bissetriz de um ângulo, traçado de retas oblíquas e divisão de segmentos. Com instrumentos de desenho e CAD podemos criar geometrias para aprendizagem da aplicação das construções fundamentais (Figura 6).

Figura 6. Divisão de segmentos: Processo de mediatriz: (a) usando régua e compasso e (b) modelo CAD 3D; Processo de partes fracionárias proporcionais: (c) usando régua e compasso e (d) modelo CAD 3D.

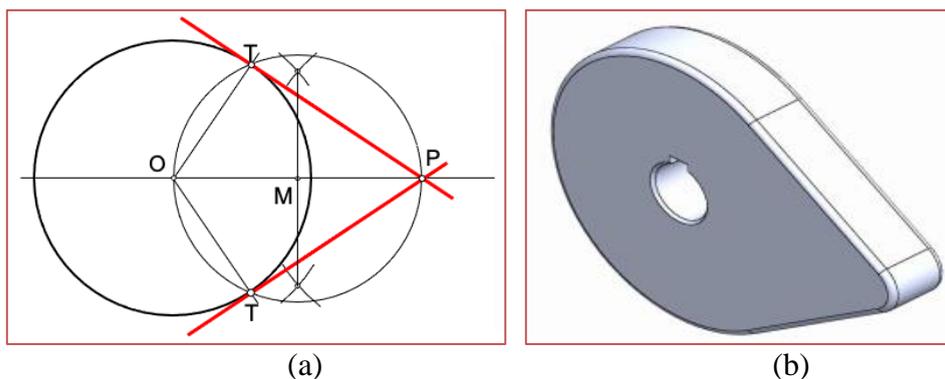


Fonte: Autor (2018).

3.3. TANGÊNCIA

Para que uma reta seja tangente a uma circunferência, ela deve ser perpendicular ao raio no ponto de tangência. Este conceito deve ser levado em consideração na modelagem de peças no CAD quando se verifica as relações geométricas entre a geometria e as dimensões que definem o esboço do objeto. Isto garante a liberação de uma peça para a fabricação quando o esboço está totalmente definido. A Figura 7a mostra a ilustração do modelo de traçado para uso de régua e compasso e CAD 3D que representa um came (Figura 7b).

Figura 7. Traçado de tangente a circunferência que passa por um ponto: (a) usando régua e compasso e (b) modelo CAD 3D (came).

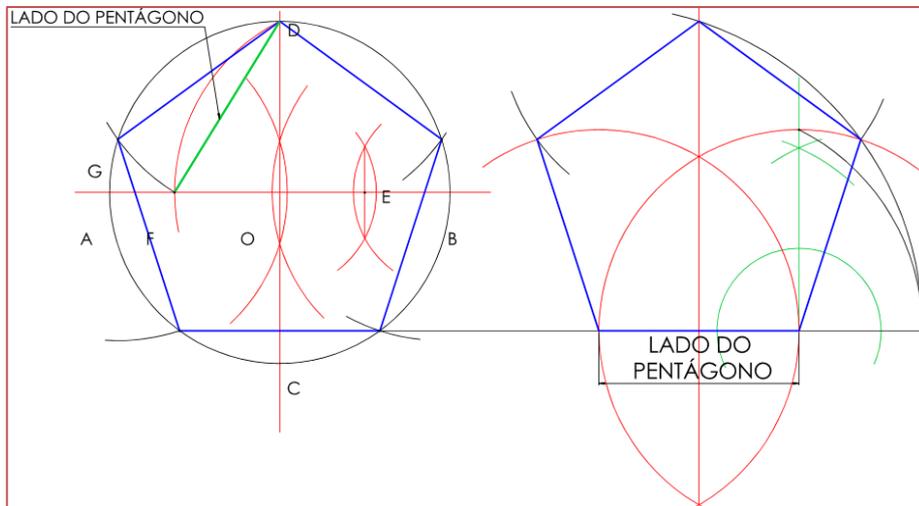


Fonte: Autor (2018).

3.4. POLÍGONOS REGULARES

O polígono se denomina regular quando todos seus lados são iguais e todos os ângulos internos são do mesmo tamanho. Um triângulo e um quadrado são polígonos regulares de 3 e 4 vértices. O polígono tem um raio interno e externo definido e seu traçado com linhas e arcos depende da construção matemática particular em função do número de seus lados. Na Figura 7 vemos o traçado de um polígono, que era importante para Pitágoras já no século VI a. C. (CARVALHO, 2010), que é o pentágono. Hoje seu traçado é mostrado conhecendo a circunferência inscrita (Figura 8a) e conhecido seu lado (Figura 8b).

Figura 8. Traçado de um pentágono no CAD com orientação para desenho com instrumentos: (a) inscrito na circunferência e (b) dado o lado do pentágono.

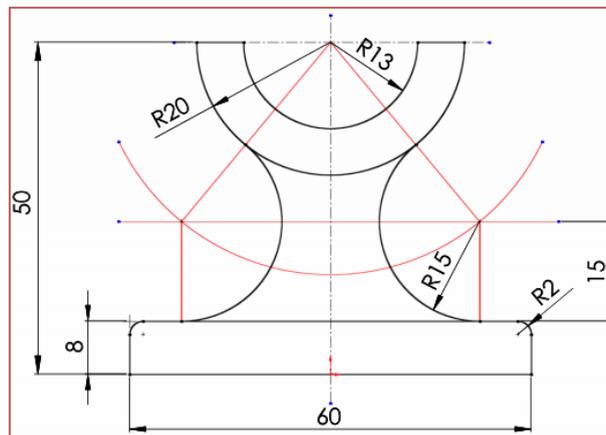


Fonte: Autor (2018).

3.5. CONDORDÂNCIAS

Para o uso com régua e compasso existe uma infinidade de traçados de concordâncias de duas linhas curvas ou de uma reta com uma curva são definidos sem ângulo, inflexão nem solução de continuidade Carvalho (1970). Os processos de representação pode definir o traçado definido de geometria e dimensão para o uso de instrumentos de desenho a partir do conceito preciso definido pelo CAD (Figura 9).

Figura 9. Traçado de concordância usando modelo de esboço em CAD.



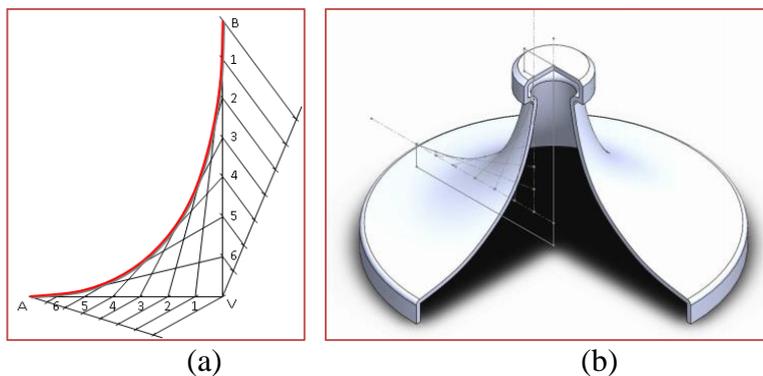
Fonte: Autor (2018) - Adaptado de Giesecke (2006).

3.6 CÔNICAS

Cônicas são as curvas resultantes de secções planas feitas numa superfície cônica. O estudo da cônicas foi iniciado pelos gregos, destacando-se as figuras de Euclides. Ao passar um plano secante a uma esfera, a superfície truncada terá sempre o perfil de uma circunferência. Já para um cone de duas folhas teremos uma circunferência se o plano secante é perpendicular ao cone. Analisando planos secantes que cortam o cone citado, teremos em função da posição relativa em relação a base, geratriz e eixo as figuras conhecidas das cônicas. As cônicas tem grande variedade de aplicação que vão da trajetória dos planetas do sistema solar a antenas de comunicação parabólicas. O recurso de traçado aproximado de um perfil parabólico (Figura 10a) em notas de aula de Silva (2018) e pode ter uma geometria suave e fácil de identificar no modelo CAD 3D (Figura 10b).

Figura 10. Traçado de um perfil parabólico: (a) exemplo para o uso de instrumentos e (b) um

modelo de esboço em CAD com recurso de casca para um sólido de revolução.



Fonte: Autor (2018)

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que a tecnologia está em constante evolução exige o desenvolvimento de aulas cada dia mais aprimoradas. O DG tem grande importância nos processos de ensino e aprendizagem e deve desenvolver a capacidade de se representar graficamente pelo uso de instrumentos de desenho e ter no desenho a mão livre capacidade de compreender que o desenho manual se estende até encontrar limitação em função da complexidade.

No trabalho de mestrado do matemático Várhidy (2010) vemos a experiência do ensino de desenho geométrico e o desafio no ensino de geometria e álgebra, propondo um trabalho que considera o DG uma ponte entre a álgebra e a geometria. Estas iniciativas nos dão esperança em resgatar o desenho para que na engenharia não seja um empecilho mas o reconhecimento como principal ferramenta do engenheiro na sua prática acadêmica e futuro profissional.

Quando se pensa em desenvolvimento sustentável ou tecnologia que se preocupa com o meio ambiente é reconhecer que indústria 4.0 deve ser entendida como oportunidade de melhorar manufatura produzindo produtos de alto valor agregado mas baixo custo de produção e preocupação socioambiental. Isto significa usar tecnologia do CAD e atingir os objetivos mais rápidos do projeto de engenharia explorando os recursos acessíveis do grande potencial de processamento para o uso integrado do CAE (engenharia) e CAM (manufatura).

O aprendizado no uso de ferramenta CAD nas fases iniciais de um curso de engenharia facilita o processo de formação do engenheiro e pode representar um diferencial na atuação do profissional no mercado de trabalho (SILVA, 2014). Daí a importância de se fundamentar os conceitos de desenho no traçado manual desenvolvendo a visão espacial e se preparando para o uso eficiente de um sistema CAD. Para tanto cabe registrar o quanto uma referência bibliográfica de qualidade tem sido o norte para o ensino do desenho de engenharia. Se trata do Desenhista de Máquinas de Provenza (1978) adotado no ensino do desenho nas engenharias e que tem o DG como rápida fonte de consulta como base para leitura, interpretação ou execução do desenho de elementos de máquinas.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. Home Page da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- [2] BERTOLINE, Gary R.; WIEBE, Eric C. Fundamentals of Graphics Communication. 5th Edition, McGraw-Hill, 2006.
- [3] CARVALHO, Benjamin de A. Desenho Geométrico. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1970.
- [4] CARVALHO, João Bosco Pitombera de. A Construção, por Euclides, do Pentágono Regular. V Bienal da SBM – Sociedade Brasileira de Matemática. UFPB - Universidade Federal da Paraíba, 2010.
- [5] EL COMERCIO. El conocimiento Arquímedes que pudo haber cambiado el mundo. Disponível em: <https://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/arquimedes-2-000-anos-conocimiento-perdido-habria-cambiado-mundo-noticia-478668>. Acesso em: 1 mai. 2018.
- [6] EUCLIDES. Só Matemática. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- [7] GIESECKE, Frederick E. et al. Comunicação gráfica moderna. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- [8] LEONARDO INTERACTIVO. Códice Madrid. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: 09 mar. 2018.

- [9] PROVENZA, Francesco. PRO-TEC - Desenhista de Máquinas. 4a Edição. Escola Pro-Tec, 1978.
- [10] SILVA, Evandro Cardozo da. Ensino do Desenho nos Cursos de Engenharia e Design. COBENGE2011-XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau, SC.
- [11] SILVA, Evandro Cardozo da. CAD nas Engenharias da Mobilidade – Fases Iniciais. CONEM2014 - VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2014, Uberlândia, MG.
- [12] SILVA, Evandro Cardozo da; MIKOWSKI, Alexandre. Projetos de Mecanismos em CAD e LEGO. CONEM2016 - IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2016, Fortaleza, Ceará.
- [13] SILVA, Evandro Cardozo da. Representação Gráfica: Disciplina de Desenho de Engenharia dos Cursos de Engenharias da Mobilidade - UFSC. Notas de Aula. Arquivo PDF, 56 p., mar-jul de 2018.
- [14] SOTO, T. Carreras. Debujo Beométrico Industrial. Colección 16, Lámina 2. Arquivo PDF, carreras_soto_16_rueda_pelton_y_varios.pdf, 16 p., 1965.

Capítulo 10

Gestão da qualidade ISO 9001 e API Q1/API Q2 para indústria de Oil & Gas: Panorama mundial e nacional

Fabício Viana Andretti

Liliane Bello Paredes

Deborah Moraes Zouain

Resumo: A gestão da qualidade nas organizações está evidenciada pela implementação dos Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), dos quais, a ISO 9001 é o mais conhecido e difundido em todo o mundo. A ISO 9001 possui o maior número de empresas certificadas dentre as normas de SGQ, mas atualmente observa-se crescimento no número de empresas do setor de petróleo e gás que já observaram e entenderam a relevância de se implantar um SGQ eficiente que inclua requisitos específicos do setor e, nesse sentido, buscam as normas API Q1 (ISO TS 29001) e API Q2. Com a última crise no setor (quando no final do segundo semestre do ano de 2014 o preço do Brent no mercado internacional havia caído do patamar de 110USD/bbl para o de 50USD/bbl), as empresas reduziram seus investimentos e começaram a buscar maior nível de eficiência operacional dos seus processos. Com isso, as empresas do setor passaram a ter mais enfoque na sistematização da melhoria contínua dos seus processos e buscaram amadurecer/implantar seu SGQ. A certificação do SGQ nas empresas na indústria de petróleo e gás conforme as normas ISO 9001, API Q1 e API Q2 podem ser consideradas uma tendência mundial, crescente e presente em mais de 190 países, reconhecido pelos clientes e cada vez mais exigido de fornecedores que demonstrem o atendimento aos requisitos de qualidade preconizado pelas normas e conseqüentemente sua certificação. Diante do crescimento mundial da certificação de SGQ, com base nas ISO 9001, API Q1 e API Q2, este artigo se propôs a traçar um panorama da emissão de certificados no mundo e no Brasil, e releva alguns aspectos que interessarão a acadêmicos, profissionais e entusiastas desta disciplina.

Palavras-chave: API Q1, API Q2, ISO 9001, Sistema de Gestão da Qualidade.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela melhoria contínua começa pelo entendimento da necessidade da qualidade para o desenvolvimento organizacional, manutenção da competitividade e permanência no mercado (MARSHALL JÚNIOR, 2010). As metas de produtividade, progressivamente desafiadoras, exigem que as organizações maximizem sua eficiência operacional (BELGA, 2007). A ausência de sistemas de gestão da qualidade ocasiona processos mais ineficientes e difíceis de administrar e de obter o efetivo envolvimento das pessoas que, invariavelmente, questionam se a prioridade é a produção ou a qualidade (BELGA, 2007).

Segundo Carvalho (2012), os sistemas normalizados de gestão tiveram sua origem ligada principalmente aos fornecimentos e governos e organizações militares. Dentre as inúmeras normas de sistema de gestão, podemos destacar as normas de sistema de gestão da qualidade ISO 9001 e, específicas para indústria de petróleo e gás, a API Q1 e API Q2. As normas de SGQ são reconhecidas internacionalmente e, em alguns nichos de mercado, têm forte apelo comercial, incentivando vendas e estabelecendo parcerias comerciais (VALLS, 2005; FRANCESCHINI et al., 2006).

A ISO 9001 é a norma certificável mais conhecida mundialmente, apresentando os requisitos básicos para implantação de um SGQ (CORREIA et al., 2006). A norma ISO 9001 é um padrão certificável de qualidade que foca principalmente a obtenção de processos eficazes e clientes satisfeitos. Este padrão é aplicável, a todas as organizações, independentemente do tipo e do setor, tamanho ou produto/serviço oferecido e pode ser considerado um elemento básico e introdutório para estabelecer processos estruturados e organizados, tornando-se a base fundamental para a gestão da qualidade e, conseqüentemente, da gestão empresarial (DOUGLAS et al., 2003).

Específica para o setor de petróleo e gás, a norma API Q1 (ISO TS 29001), já na sua 9ª edição de junho de 2014, foi desenvolvida para abordar o SGQ para organizações que fabricam produtos ou fornecem serviços relacionados com a fabricação sob uma especificação de produto para uso na indústria de petróleo e gás. O objetivo da norma é fornecer os requisitos mínimos para o desenvolvimento de um SGQ que fornece melhoria contínua, enfatiza a prevenção de defeitos, promovendo a confiabilidade no setor manufatureiro da indústria de petróleo e gás. Também específica para o setor de petróleo e gás, a norma API Q2, 1ª edição de dezembro de 2011, foi elaborada para tratar de sistemas de gestão de qualidade para organizações de prestação de serviços para as indústrias *upstream* de petróleo e gás. Juntamente com as exigências do cliente, a API Q2 serve de base de orientações específicas de modo a facilitar o desenvolvimento do SGQ e a sua implementação pelas organizações fornecedoras de serviços. O objetivo da norma é o de apresentar os requisitos mínimos para o desenvolvimento de um SGQ que apresente melhoria contínua, que tenha ênfase na prevenção de falhas e busque minimizar riscos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE

A gestão da qualidade emergiu como um paradigma de gestão para melhorar a eficácia e a competitividade organizacional (GRANDZOL e GRESHON, 1997; DOW et al., 1999; SANCHEZ-RODRIGUEZ e MARTINEZ-LORENTE, 2004; SILA, 2007). Vários estudos empíricos sugerem que as empresas alcançam níveis mais altos de lucratividade e desempenho organizacional através da implementação bem-sucedida da gestão da qualidade (POWELL, 1995; EASTON AND JARRELL, 1998; DAS et al., 2000, KAYNAK, 2003; YEUNG et al., 2006; SANTOS-VIJANDE e A´LVAREZ-GONZA´LEZ, 2009).

Algarte & Quintanilha (2000) relatam que a preocupação com a qualidade existe desde os primórdios das civilizações. O conceito de controle da qualidade estava associado à realização de inspeções e testes nos serviços ou produtos acabados. A aplicação de teorias estatísticas aos planos de inspeção e testes, com a chegada da revolução industrial, mudou significativamente este conceito, que recebeu o nome de controle estatístico da qualidade. Na segunda metade do século XX, o aumento da complexidade tecnológica, o aumento do volume de investimentos e a necessidade de segurança ampliaram o conceito do controle de qualidade, que deveria assegurar, previamente, a qualidade dos produtos, serviços, instalações e equipamentos. Esta nova etapa da qualidade resulta da abordagem sistêmica ao controle total da qualidade (ALGARTE & QUINTANILHA, 2000). A gestão da qualidade consiste no aproveitamento de todos os recursos, mediante os quais se obtém a qualidade e inclui três processos: planejamento da qualidade, controle da qualidade e melhoria da qualidade (CARVALHO, 2012).

Paladini (2012) afirma que qualidade é um conceito muito dinâmico, uma percepção que trabalha com direcionamentos que sofrem mudanças ao longo de períodos diferentes, às vezes de maneira muito profunda. Os conceitos de qualidade no decorrer dos anos, de acordo com Carvalho e Paladini (2012), mudaram consideravelmente. Em relação ao conceito da palavra qualidade, esse se relaciona ao atendimento das exigências dos clientes. Conforme apresentado por Oakland (1994), tendo como base autores clássicos da área, qualidade pode ser definida conforme tabela 1.

Tabela 1. Definições da Qualidade

Autor	Definição
Crosby	Conformidade com as exigências
Deming	A qualidade deve ter como objetivo as necessidades do usuário, presentes e futuras
Leafs	O total de características de um produto e de um serviço referentes a marketing, engenharia, manufatura e manutenção, pelas quais o produto ou serviço, quando em uso, atenderá às exigências do cliente
Juran	Adequação à finalidade ou uso

Fonte: adaptado de Oakland (1994, p. 15)

Uma organização fundamentada pelos princípios da gestão da qualidade deve estar direcionada holisticamente para a produtividade, qualidade e competitividade de seus produtos e serviços. Os benefícios resultantes desse enfoque não são somente os relacionados à qualidade intrínseca do produto ou serviço, mas também os relacionados à gestão de custos, riscos e recursos, incluindo a gestão de recursos humanos e de fornecedores. A qualidade, portanto, precisa ser administrada, ela não acontece sozinha. Efetivamente, deve envolver cada pessoa que atua no processo e ser aplicada através de toda a organização (Oakland, 1994:19). Dessa forma, entende-se que a definição da política da qualidade pela alta direção de uma organização somente será implantada, de fato, como resultado de um amplo e consistente processo de comunicação, que deve resultar no comprometimento e envolvimento de todos os colaboradores, uma vez que a gestão da qualidade está fundamentada em uma visão integrada dos processos, sistemas e recursos disponíveis na organização.

Segundo Zacharias (2009), o modelo de um SGQ, com embasamento em abordagem de processo, demonstra que os clientes desempenham importante papel na definição dos requisitos como entradas. Para Ulhôa (2012), a satisfação dos clientes, conformidade na relação com órgãos reguladores e melhoria contínua são essenciais para a implementação de um SGQ. As exigências de um SGQ estão focadas na organização de todos os setores da empresa e contribuem para o alcance de metas e objetivos (COSTA, 2004). A satisfação do cliente requer a avaliação de informações concernentes à percepção do mesmo sobre a maneira pela qual a organização conseguiu atender aos seus requisitos. A implantação de um SGQ, para Kotler e Keller (2012), acarretará significativa mudança na cultura organizacional.

O SGQ pode ser melhorado aumentando o conhecimento sobre qualidade, foco no cliente e envolvimento de gerenciamento da organização. Além disso, a eficiência do SGQ afeta o desempenho da empresa, mas através de outras variáveis (ADAM et al., 1997). As metas de produtividade, progressivamente desafiadoras, exigem que as organizações maximizem sua eficiência operacional (OLIVEIRA et al., 2006). A qualidade é reconhecida, em nível mundial, como a estratégia mais efetiva para a sobrevivência e prosperidade das organizações e neste sentido, pode-se falar da globalização da qualidade. A qualidade, hoje, é aplicada como uma ferramenta de gestão e passou historicamente por um desenvolvimento progressivo, desde os conceitos de garantia da qualidade tradicionais, passando pelos sistemas de gestão da qualidade certificados.

2.2. GESTÃO DA QUALIDADE NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS

O setor de petróleo tem hoje um papel preponderante na oferta mundial de energia – e continuará a ser relevante no longo prazo. Atualmente, cerca de 80,7% da energia primária mundial é suprida por combustíveis fósseis incluindo o carvão, sendo 52,5% referente a petróleo e gás (IEA, 2017). Com a introdução de novas tecnologias renováveis na matriz energética mundial, as estimativas do cenário-base da IEA sinalizam que esse percentual será reduzido ao longo do tempo, mas indicam que o setor de petróleo e gás permanecerá suprimindo uma parte significativa (50% em 2040) da necessidade de energia do mundo. Em particular, o gás natural, que vem sendo apontado como um elemento fundamental na transição para uma economia de baixo carbono, principalmente na geração de eletricidade, para fazer frente à intermitência das fontes renováveis (IEA, 2017).

O cenário atual do petróleo no mundo está sendo marcado por uma mudança de parâmetros que afeta todas as fases de sua cadeia produtiva, seus derivados e também a relação com seu mercado consumidor. Nos últimos tempos, a matriz energética mundial, completamente dependente da utilização do petróleo e do gás natural, vivencia uma diminuição evidente das reservas mais acessíveis, que marcaram o boom do petróleo no início do século XX, impulsionando a expansão da riqueza global ao longo dos últimos 65 anos. No entanto, o planeta ainda está repleto de reservas petrolíferas ainda não exploradas, suficientes para abastecer a demanda mundial por muitos anos, porém estas são de difícil produção. Este petróleo de difícil exploração é caracterizado pela alta demanda por técnicas avançadas de tecnologia, o que implica em maiores custos de exploração, extração e refino.

Atualmente, as reservas provadas de petróleo no mundo, ou seja, aquelas que, com base na análise de dados geológicos e de engenharia, se estima recuperar comercialmente de reservatórios descobertos e avaliados com elevado grau de certeza, compreendem a aproximadamente 1,7 bilhões de barris (EIA, 2017). O consumo mundial de petróleo passou de 79,2 milhões de barris diários, em 2003, para mais de 100 milhões de barris diários em 2017, representando assim, um aumento de mais de 15% em 14 anos (EIA, 2017). Com a ampliação acelerada das necessidades de petróleo da China e da Índia, e com o desenvolvimento dos países em geral, espera-se um aumento ainda mais acentuado da demanda de petróleo para os próximos anos. Como o petróleo é um bem finito, a velocidade de esgotamento em breve ultrapassará a velocidade com que novas reservas possam ser descobertas. O Brasil possui uma das maiores reservas de petróleo em águas profundas e ultra profundas na indústria de petróleo. A indústria nacional amadureceu muito desde a abertura do mercado, em 1998. Hoje estão instalados no Brasil praticamente todos os grandes fornecedores internacionais de bens e serviços para exploração e produção de petróleo e gás natural.

Com base no cenário de retomada de crescimento no pós crise do setor, verifica-se uma forte tendência entre as empresas de petróleo de implantar sistemas de gestão e buscar certificações com reconhecimento internacional como um "selo de garantia" dos cuidados da companhia em relação aos riscos envolvidos nas operações de exploração e produção de petróleo. Segundo Souza e Costa (2004), a área de petróleo e gás é um dos setores de maior exposição a riscos. Os fornecedores de produtos e serviços são de dimensões extremamente variáveis e distribuídas por todo o mundo, com culturas diversas. As plantas industriais manuseiam fluídos extremamente perigosos com uma ampla variedade de processos, sendo que falhas nessas plantas podem trazer consequências tais como perdas humanas, materiais, de produção, podendo acarretar danos ambientais e prejuízos financeiros (downtime, multas, ...). Portanto tais falhas são consideradas inadmissíveis. Em função disso, estas empresas requerem alta exigência no que se refere à segurança pessoal, proteção do ambiente e continuidade operacional. Apesar do enfoque já amadurecido de segurança pessoal e proteção ambiental, o setor de petróleo vem buscando maior enfoque no aspecto de qualidade buscando continuidade operacional e satisfação de seus clientes. Tal temática faz surgir uma tendência das empresas de petróleo e gás na implementação do seu SQG e, conseqüentemente, da obtenção de uma certificação reconhecida do seu SQG.

As motivações para a certificação do sistema de gestão da qualidade podem ser classificadas em duas categorias: motivações internas e motivações externas (RAYNER et al., 1991; VAN DER WIELE et al., 1997; SAMPAIO et al., 2009; ANDERSON et al., 1999; BEATTIE et al., 1999). As internas estão relacionadas com o objetivo de alcançar a melhoria da organização, enquanto as externas estão relacionadas ao marketing, pressões do cliente e aumento do market share (SAMPAIO et al., 2009). As motivações podem gerar resultados distintos em função do grau de comprometimento dos dirigentes, da conscientização em relação a deficiências empresariais existentes e da disponibilidade de recursos financeiros e humanos.

2.3. A ISO 9001, A API Q1 E A APIQ2

Os conceitos acerca da gestão da qualidade da ISO 9001 estão diretamente relacionados à fundamentação proposta pela *International Organization for Standardization* (ISO), incluindo conceitos, interpretações, diretrizes e requisitos. É importante registrar que o avanço e a penetração mundial da série de normas ISO 9000 impulsionou e permitiu o avanço da gestão da qualidade e o seu atual estágio de evolução nas organizações. A ISO é a organização com a mais vasta representatividade na emissão de normas internacionais de âmbito global. Foi criada oficialmente no dia 23 de fevereiro de 1947 com o objetivo de facilitar a coordenação internacional e a unificação de padrões técnicos, porém atualmente está ligada também à normalização de padrões de gestão, com alta repercussão econômica e social, tendo impacto não somente no setor de produção de bens tangíveis, mas também na área de serviços, contribuindo para a sociedade como um todo, principalmente nos aspectos de segurança e atendimento às exigências legais. De 1947 a 2017, a ISO publicou mais de 22.217 normas internacionais, dos mais diversos setores e aplicações. Desde atividades tradicionais, como agricultura, construção e petróleo e gás, passando por engenharia mecânica, dispositivos médicos até o desenvolvimento da mais nova tecnologia da informação. A ISO é uma

organização não-governamental (ONG), e cada país membro possui uma entidade nacional como sua representante (governamental ou privada) junto aos comitês da ISO. O escritório-base da ISO está sediado em Genebra, na Suíça, e seus trabalhos são conduzidos e acompanhados por todas as entidades participantes. Diferentemente do que muitas pessoas acreditam, ISO não é uma sigla, e sim um nome. Como “*International Organization for Standardization*” pode ser abreviada de diversas formas, em diversos idiomas (OIN em português, IOS em inglês, OIN em francês etc.), optou-se por utilizar uma palavra curta e simples, derivada do grego isos, que independentemente do idioma poderia preservar seu significado (International Organization for Standardization, 2004).

A ISO 9001 foi elaborada pelo Comitê Técnico *Quality Management and Quality Assurance* (ISO/TC 176). Esta norma resultou da revisão publicada pela ABNT, a versão brasileira da norma é a ABNT NBR ISO 9001, com versão atual de 2015. A ISO 9001 refere-se a um padrão internacional que estabelece procedimentos e requisitos para a gestão da qualidade (ELMUTI e KATHAWALA, 1997), alcançando 195 países em 2016 (ISO SURVEY, 2016). Ela é a norma que certifica os SGQ e define os requisitos para a implantação do sistema. Qualquer empresa pública ou privada pode obter essa certificação com base na ISO 9001, independente do seu setor, produto/serviço oferecido, diferente das normas API Q1 e API Q2 que são específicas para fabricação (API Q1) e prestação de serviço (API Q2) respectivamente e para o setor de Petróleo e Gás. Um total de 1.106.356 certificados válidos foram reportados para a ISO 9001 (incluindo 80.596 emitidos para a versão 2015) um aumento de 7% de 2015 para 2016 (ISO SURVEY, 2016). A generalidade da norma ISO 9001 (aplicada a qualquer setor e a produtos e serviços) deixa de considerar aspectos específicos de certas indústrias (indústria de petróleo e gás, automobilística, construção, ...). Isso faz com que esses setores desenvolvam normas específicas para Sistema de Gestão da Qualidade pois a ISO 9001 deixa lacunas em termos de SGA para essas indústrias.

A norma API Q1 é uma especificação do sistema de gestão da qualidade, publicada pelo Instituto Americano de Petróleo (*American Petroleum Institute* – API), especificamente escrita para organizações que fabricam produtos para a indústria de petróleo e gás natural. A API Q1 está na sua nona edição publicada em junho de 2013 e representou uma grande mudança para o setor. Uma das principais mudanças introduzidas na API Q1 nona edição, foi o gerenciamento de riscos. A revisão veio após a explosão da *Deepwater Horizon*, que ocorreu em 20 de abril de 2010 e foi o evento marco para lançamento da norma API Q2 e subsequente melhoria da norma API Q1. A API Q1 foi introduzida para ajudar a indústria a melhorar a avaliação de risco e o gerenciamento de seus processos empregados para produzir seus produtos.

A norma API Q2 é a primeira certificação de sistema de gestão da qualidade destinada a prestadoras de serviços do setor de petróleo e gás natural. A primeira edição da norma foi publicada em dezembro de 2011 pela API. O objetivo principal da API Q2 é fornecer os requisitos mínimos para o desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade que ofereça a melhoria contínua, enfatize prevenção de falhas e se esforce para minimizar a variação e desperdício de organizações prestadoras de serviços. A norma foi concebida para promover a confiabilidade nas organizações na oferta do serviço para a indústria. A API Q2 é a primeira especificação com uma abordagem global do cliente para execução do serviço. No passado, um prestador de serviços era capaz de obter a certificação apresentando controle direto dos processos de implementação em uma instalação especial acordada no escopo. Essa abordagem deixava lacunas significativas no setor de serviços e apresentava riscos para os operadores, prestadores de serviços, fornecedores e as comunidades e ambientes em que atuam. A API Q2 fecha essas lacunas por exigir do prestador a demonstração clara dos controles e processos, levando em conta todos os quatro grupos: operadores, fornecedores, agências reguladoras e outras partes interessadas e as empresas prestadoras de serviço. Com isso, a companhia que presta o serviço deve mostrar como esse processo é realizado e como ele decorre durante a prestação do serviço, eliminando e mitigando riscos.

Muitas empresas Operadoras exigem que seus fornecedores sejam certificados como API Q1/Q2, para até mesmo concorrer a um processo licitatório. A obtenção da certificação API Q1/Q2 ajuda a empresa a aumentar suas receitas tornando-se mais comercializável. Alcançar a certificação API Q1/Q2 é um investimento em termos de recursos. Com um sistema de gerenciamento de qualidade implantado a organização passa a garantir que as entradas e saídas do processo sejam capturadas, comunicadas, compreendidas, implementadas e verificadas antes que os itens passem para a próxima etapa do processo, reduzindo retrabalhos e perdas no processo de prestação de serviço (API Q2) e fabricação de produtos (API Q1) garantindo que os requisitos sejam claramente definidos, comunicados e compreendidos antes do início do trabalho. Um sistema de gestão de qualidade API Q1/Q2 faz com que as organizações definam a sequência adequada de processos e como eles interagem entre si, de forma a promover uma melhoria contínua dentro da organização.

A obtenção da certificação API Q1/Q2 demonstra o compromisso da empresa em superar os padrões atuais do seu sistema de gestão da qualidade e o comprometimento com a melhoria da eficiência operacional por

meio da execução em alto nível de prestação de serviço (API Q2) e fabricação de produtos (API Q1). A obtenção da norma é de extrema relevância para as empresas, para seus clientes e para o setor de petróleo e gás, pois posiciona o sistema de gestão da companhia em um patamar diferenciado no mercado nacional e internacional.

3. METODOLOGIA

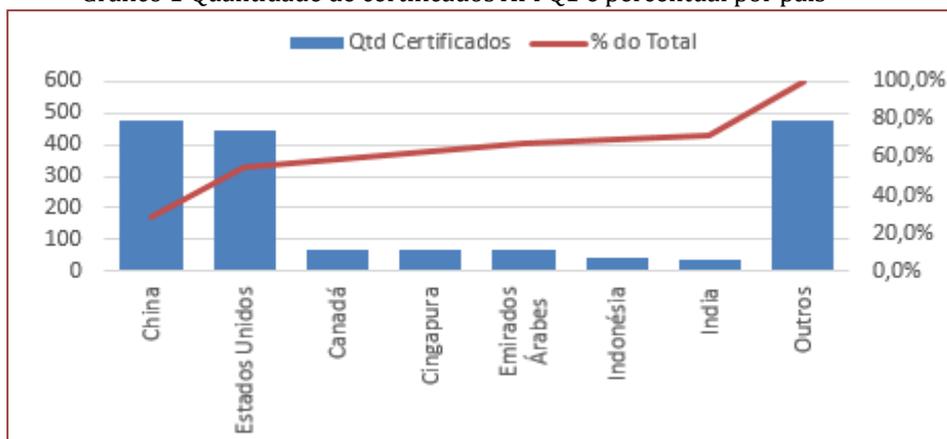
O artigo apresenta uma pesquisa exploratória, que utiliza dados secundários provenientes da pesquisa ISO Survey e do API Mycerts, sobre os quais foram produzidas análises estatísticas e gráficos para mostrar um panorama dessas certificações estratificando a emissão dos certificados por países e empresas, bem como apresentar a evolução histórica da quantidade de certificados emitidos. Estes dados da pesquisa ISO Survey e da API Mycerts são tratados utilizando-se estatística descritiva, e são apresentados, através de gráficos diversos, informações tais como crescimento na emissão de certificados em todas as regiões do mundo e no Brasil. Há um particular interesse em identificar os países que apresentam maior número de certificados emitidos e onde há maior crescimento na emissão dos certificados, bem como reconhecer os países de cada continente que lideram o número de certificados emitidos.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A pesquisa ISO Survey (2016) revela que a China é o país com maior número de certificados ISO 9001 em vigor no mundo. A China representa mais de um terço (31,7%) de todos os certificados em vigor no mundo. Depois da China, Itália é o país com maior número de certificados em vigor (13,6%), seguido Alemanha (6,0%), Japão (4,5%), Reino Unido (3,4%) e Índia (3,4%). Em 2005, o Japão era o país com maior número de certificados, com quase o dobro da China, que detinha o segundo lugar. Até o ano de 2015, a Europa era a região predominante no número de certificados ISO 9001 emitidos no mundo, chegando a representar 81,9% em 1993. No entanto, a proporção que a Europa representa no número de certificados tem caído ao longo dos anos, ao passo que a proporção de certificados emitidos oriundos da Ásia Oriental e Pacífico tem subido. Em 1993, a Ásia oriental e Pacífico representavam 10,2% dos certificados emitidos e em 2016 este percentual subiu para 43,4% deixando a Europa em segundo lugar com 40,8%. Observando o caso particular do Brasil, verifica-se que o número de certificados tem seguido a tendência mundial de crescimento, sendo que o número de certificados apresentou crescimento desde 2010 e o país segue em décimo (1,9%) colocado com maior número de certificados emitidos. A análise da base de dados ISO Survey revela o crescimento do número de certificados emitidos no Brasil (taxa de crescimento anual composta de 25,5%) e no mundo (taxa de crescimento anual composta de 14,8%).

Avaliando a API Q1, a API MyCerts (2018) revela que a China é o país com maior número de certificados no mundo representando 28,2% de todos os certificados em vigor no mundo. Depois da China, Estados Unidos é o país com maior número de certificados em vigor (26,4%), seguido Canadá (4,2%), Singapura (4,1%), Emirados Árabes (4,0%), Indonésia (2,7%) e Índia (2,3%) conforme gráfico 1:

Gráfico 1 Quantidade de certificados API Q1 e percentual por país



A análise da base de dados API MyCerts (2018) revela que a Jiangsu (China) é a empresa com maior número de certificados API Q1 em vigor no mundo representando 1,6%. Depois da Jiangsu, a Hebei (China) é a empresa com maior número de certificados (1,5%), seguido da Shandong (1,1%), National Oilwell Varco (1,1%) e a Cameron (1,0%) conforme gráfico 2:

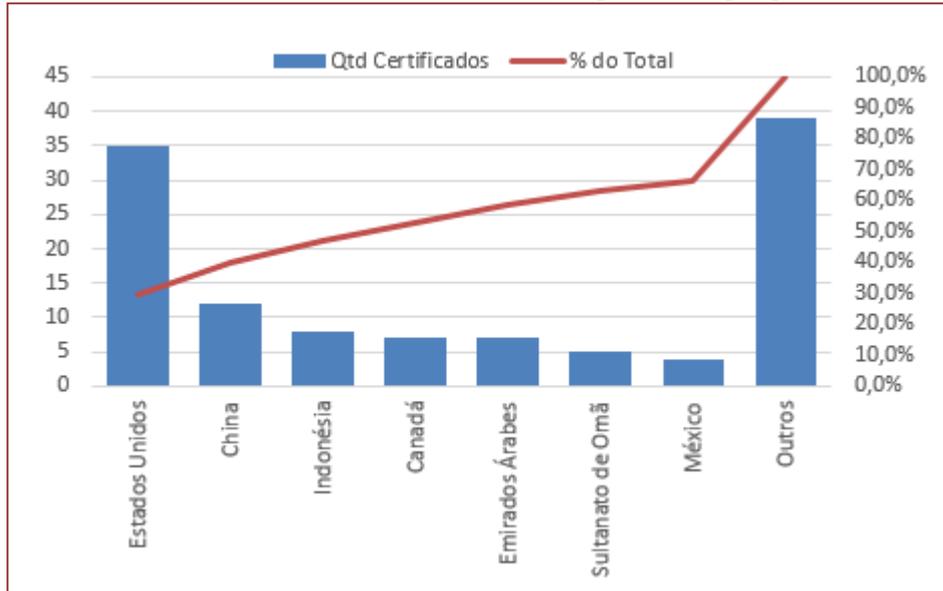
Gráfico 2 Quantidade de certificados API Q1 e percentual por empresa no mundo



A base de dados API MyCerts (2018) revela que no Brasil temos 17 certificados API Q1 ativos distribuídos em 15 empresas: AFG - Inspecao e reparo em risers Ltda (1), Brastech Servicos Tecnicos e Construcoes Nauticas Ltda (1), CRH Sudeste Indústria de Cimentos S.A. (1), Dril-Quip do Brasil Ltda (1), FMC Technologies (1), GE Jandira (1), National Oilwell Varco (1), Oil States (1), OneSubsea (2), Petrol Industrial S/A (1), PWR Mission Industria Mecanica S/A (1), Technip-FMC (1), Tuper S/A - Oil and Gas Unit (1), Vallourec (1) e Weatherford (2). Em termos de regiões esses 17 certificados estão distribuídos no estado do Rio de Janeiro (11), São Paulo (2), Santa Catarina (1), Minas (1), Bahia (1) e Rio Grande do Sul (1).

Avaliando a API Q2, a API MyCerts (2018) revela que os Estados Unidos é o país com maior número de certificados e representa quase um terço (29,9%) de todos os certificados em vigor no mundo. Depois dos Estados Unidos, China é o país com maior número de certificados (10,3%), seguido da Indonésia (6,8%), Canadá (6,0%), Emirados Árabes (6,0%), Sultanato de Omã (4,3%) e México (3,4%) conforme gráfico 3:

Gráfico 3 Quantidade de certificados API Q2 e percentual por país



A análise da base de dados API MyCerts (2018) revela que a Halliburton é a empresa com maior número de certificados API Q2 em vigor no mundo representando 29,9%. Depois da Halliburton, a Baker Hughes é a empresa com maior número de certificados (7,7%), seguido da Calfrac (6,8%), Weatherford (4,1%) e a Offshore Energy Services e Supreme Service & Specialty representando, cada um, 1,7% do total de certificados conforme gráfico 4:

Gráfico 4 Quantidade de certificados API Q2 e percentual por empresa no mundo



A base de dados API MyCerts (2018) revela que no Brasil temos 4 certificados API Q2 ativos distribuídos em 3 empresas: Halliburton (2), Queiroz Galvão Óleo e Gás S.A. (1) e Weatherford (1). Todas 4 empresas estão no estado do Rio de Janeiro sendo 2 em Macaé, 1 em Niterói e 1 em Rio das Ostras.

5. CONCLUSÕES

Com as crises históricas e recente no setor Oil&Gas, a necessidade de buscar maior eficiência e o aumento da competitividade, a adoção de normas de SGQ vêm crescendo nas empresas do setor de petróleo e gás. A ISO 9001 tem mais de 1,1 milhão de certificados em 195 países, sendo mais de 2.000 certificados de empresas do setor de Oil&Gas. Esse número poderia ser maior, mas há uma tendência de mudança de múltiplos certificados de unidades únicas para certificados únicos de unidades múltiplas. É o caso de organizações que operavam anteriormente unidades múltiplas, tendo cada uma um certificado separado, e agora racionalizaram o programa de certificação após fazerem a transição e obterem um único certificado ISO 9001, que abrange unidades múltiplas. Essa evolução afeta, em especial, as empresas multinacionais. A extensão total dessa evolução ainda é desconhecida, embora os números parciais obtidos indiquem que o fenômeno está crescendo. Desenvolvido especificamente para a indústria de petróleo e gás, as normas API Q1 e API Q2 estão aumentando sua aplicação a nível mundial já alcançando 1.694 certificados API Q1 em mais de 71 países e 117 certificados API Q2 em 24 países (API Mycerts, 2018).

A norma ISO 9001, assim como outras da família ISO, se aplicam a qualquer organização (todos setores: petróleo e gás, telecomunicações, entre outros) de qualquer segmento (produtos, serviços). A generalidade da ISO 9001 faz com ela não inclua requisitos específicos do setor de petróleo e gás como Projeto de Serviços (D&D: Design & Development), Plano da Qualidade (Quality Plan - QP) e Plano da Qualidade de Serviço (Service Quality Plan - SQP), entre outros como preconizado pelas normas API Q1 e API Q2. Isso fez com que o setor de petróleo e gás desenvolvesse normas específicas de sistema de gestão da qualidade para cobrir essas lacunas. O crescimento recente do requisito das certificações API Q1 e API Q2 nas licitações vem consolidando essas normas como diferenciais competitivos no mercado de Oil&Gas.

Os motivos para obter a certificação variam dentro de cada organização. Os especialistas em gestão da qualidade, como Hoyle (2009), Kemp (2006) e Oakland (2004) também discutem a implementação com pouca referência a segundas intenções, como “o emblema de marketing” (BABAKUS 2004) e “uma razão para negociar no Mercado global” (DADOUN, 1992). Hoyle (2009 p. 85) explica que os dois principais objetivos para a implementação de um SGQ são a satisfação do cliente e a contínua melhoria. Kemp (2006 p.92) afirmou que o propósito de um sistema de gestão da qualidade é “aprimorar processos de negócios e buscar valor tanto para o cliente quanto para a organização”. Koehn e Datta (2003) e Kemp (2006 p.92) concordaram quando afirmaram que implementar um SGQ com certificação é uma decisão estratégica que beneficia a empresa. Da mesma forma Townsend et al (1992), Perez et al (1992), Arnold et al (1992) e Pinto (2000) também concordam que a implementação do SGQ é uma ferramenta estratégica que beneficia as empresas.

A certificação do SGQ ainda é voluntária e não é barata de se obter. No entanto, o número cada vez mais crescente de empresas do setor de petróleo e gás se mostram dispostas a aventurar-se no desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em conformidade com uma certificação, indica que este caminho é recompensador. As empresas do setor de petróleo e gás entendem a certificação do SGQ como um modelo de gestão e não apenas como uma norma, evitando, assim, a conformidade “só no papel”. As empresas reconhecem que possuir uma certificação do SGQ não garante um ótimo desempenho operacional e que algumas características do processo de certificação podem permitir que empresas se certifiquem sem ter realmente um modelo de gestão implantado na sua totalidade. Mas a norma de SQG é um excelente modelo dentro de um cenário maior de sustentabilidade empresarial para, entre outros, melhorar a satisfação dos seus clientes, estabelecer um modelo de gestão eficaz e também para mitigar riscos, dado seu forte componente financeiro. Além disso é possível citar algumas considerações e oportunidades de melhoria no modelo atual de certificação do SGQ tais como: (a) a certificação não atesta a excelência operacional de uma empresa, mas somente que esta possui um sistema de gestão da qualidade, e que está comprometida com a melhoria contínua de seus processos produtivos ou de prestação de serviço e; (b) para que uma certificação seja obtida é necessário um alto grau de formalização da empresa, o que acarreta em custos e dificulta a adoção das normas por empresas de pequeno porte. A principal dificuldade enfrentada pelas empresas de pequeno porte é a questão financeira. Os custos da consultoria de implantação, dos investimentos na adequação de equipamentos e processos produtivos/prestação de serviços, do contrato com a empresa certificadora, das auditorias de supervisão do SGA e da manutenção do sistema são um empecilho considerável. Apesar do crescimento das certificações no setor de petróleo e gás, ainda há diversas oportunidades em termos de número de empresas certificadas pois o setor passou recentemente com as reduções de margens pelos novos preços de barril no mercado, a terem um enfoque mais direcionado a eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

- [1] ADAM, E.E. JR; CORBETT, L.M.; FLORES, B.E.; HARRISON, N.J.; LEE, T.S.; RIBERA, J.; SAMSON, D.; WESTBROOK, R. (1997), "An international study of quality improvement approach and firm performance", *International Journal of Operations and Production Management*, Vol. 17 No. 9, pp. 842-73.
- [2] ALGARTE, W.; QUINTANILHA, D. (2000) A história da qualidade e programa brasileiro da qualidade e produtividade. Rio de Janeiro: INMETRO/SENAI, 2000.
- [3] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). Pesquisa API MyCerts. Página na internet, disponível em <https://mycerts.api.org/Search/CompositeSearch>. Acessado em 27 mar. 2018.
- [4] ANDERSON, S. W.; DALY, J. D.; JOHNSON, M. F. (1999) Why firms seek ISO 9000 certification: regulatory compliance or competitive advantage? *Production and Operations Management*, v. 8, n. 1, p. 28-43, 1999. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.1999.tb00059.x>.
- [5] ARNOLD, M, S.; SCHILHAB, L.; WHITE, D, B.; DUDIESON, W, J. (1992). How a Computerised Drilling System has Improved Drilling Performance. Society of Petroleum Engineers © Paper IADC/SPE 21925.
- [6] BABAKUS, E., (2004). Linking perceived Quality and Customer Satisfaction to Store Traffic and Revenue Growth. Página na internet, disponível em: <http://www.findarticles.com/p/articles/miQa3717/is200410/ain94585717>. Acessado em 10 mai. 2018.
- [7] BEATTIE, K. R.; SOHAL, A. S. (1999) Implementing ISO 9000: a study of its benefits among Australian organizations. *Total Quality Management*, v. 10, n. 1, p. 95-106, 1999. <http://dx.doi.org/10.1080/0954412998090>.
- [8] BELGA, I. M. F. (2007) Processo de integração e implementação de sistemas de gestão da qualidade, do meio ambiente e de segurança e saúde ocupacional. 164p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Industrial, Pontífica Universidade Católica, Rio. Rio de Janeiro, 2007.
- [9] CARVALHO, M.M.; PALADINI, E.P. (2012) Gestão da qualidade: teoria e casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- [10] CORREIA, L. C. C.; MELO, M. A. N.; MEDEIROS, D. D. (2006) Modelo de diagnóstico e implementação de um sistema de gestão da qualidade: estudo de um caso. *Produção*, v. 16, n. 1, p. 111-125, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132006000100010>.
- [11] DADOUN, G. (1992) A Requirement for Doing Business. Página na internet, disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=962236>. Acessado em 08/03/2018].
- [12] DOW, D.; SAMSON, D.; FORD, S. (1999), "Exploding the myth: do all quality management practices contribute to superior quality performance?", *Production and Operations Management*, Vol. 8 No. 1, pp. 1-27.
- [13] DOUGLAS, A.; COLEMAN, S.; ODDY, R. (2003) The case for ISO 9000. *The TQM Magazine*. v. 15, n. 5, p. 316-324, 2003. <http://dx.doi.org/10.1108/09544780310487712>
- [14] ELMUTI, D.; KATHAWALA, Y. (1997). An investigation into the aspects of ISO 9000 on participants' attitudes and job performance. *Production and Inventory Management Journal* 38, 52-57.
- [15] FRANCESCHINI, F.; GALLETTO, M.; CECCONI, P. (2006) A worldwide analysis of ISO 9000 standard diffusion, considerations and future development. *Benchmarking: An International Journal*, v. 13, n. 4, p. 523-541, 2006
- [16] GRANDZOL, J.R. e GRESHON, M. (1997) "Which TQM practices really matter: an empirical investigation", *Quality Management Journal*, Vol. 4 No. 4, pp. 43-59.
- [17] HOYLE, D. (2009) *ISO 9000 Quality Systems Handbook*. 6th edition, Butterworth-Heinemann London.
- [18] INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). Pesquisa ISO Survey. Página na internet, disponível em www.iso.org/iso/iso-survey. Acessado em 22 mar. 2018.
- [19] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. About ISO, Introduction. Página na internet, disponível em: <http://www.iso.org/iso/en/aboutiso/introduction/index.html>. Acessado em 22 mar. 2018.
- [20] KEMP, S. (2006) *Quality Management Demystified*. McGraw-Hill, London.
- [21] KOEHN, E. DATTA, N. (2003) *Journal of Construction Engineering and Management*. Setembro/Outubro 2003.
- [22] KOTLER, P.; KELLER, K.L. (2012) *Administração de marketing*. Trad. Sônia Midori Yamamoto; rev. tec. Edson Crescitelli. 12. ed., São Paulo: Pearson, 2012, 765 p.
- [23] MARSHALL JÚNIOR (2010) *Gestão da qualidade*. 10. ed., Rio de Janeiro: FGV.
- [24] OAKLAND, J. S. (1994) *Gerenciamento da Qualidade Total (TQM)*. São Paulo: Nobel.
- [25] OAKLAND, J. S. (2004) *TQM*. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- [26] PALADINI, E.P. (2012) *Gestão da qualidade: teoria e prática*. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2012.
- [27] PEREZ, E, E., SANGUINO, J, E. CUMANO, J. (1992) The Development of the Furrial Field With Innovative Drilling Framed Within the Philosophy of Improvement of Quality at Work. Society of Petroleum Engineers © Paper IADC/SPE 19932.

- [28] PINTO, S. (2000) The Implementation of an Integrated Environmental, Quality, Health and Safety Management System in the Brazilian Oil Industry. Society of Petroleum Engineers © Paper No SPE 60988
- [29] SANCHEZ-RODRIGUEZ, C. e MARTINEZ-LORENTE, A.R. (2004) Quality management practices in the purchasing function: an empirical study. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 No. 7, pp. 666-87.
- [30] RAYNER, P.; PORTER, L. (1991) BS5750/ISO 9000: the experience of small and medium sized businesses. *International Journal of Quality Reliability Management*, v. 8, n. 6, p. 16-28, 1991.
- [31] SAMPAIO, P.; SARAIVA, P.; RODRIGUES, A. G. (2009) ISO 9001 certification research: questions, answers and approaches. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 26, n. 1, p. 38-58, 2009.
- [32] SILVA, I. (2007) Examining the effects of contextual factors on TQM and performance through the lens of organizational theories: an empirical study, *Journal of Operations Management*, Vol. 25 No. 1, pp. 83-109.
- [33] SOUZA, O. F.; COSTA, S. R. R. (2004) Sistema de gestão da qualidade para os fornecedores da indústria do petróleo e gás natural. In: RIO OIL & GAS 2004 EXPO AND CONFERENCE, 10., 2004, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: IBP, 2004. 1 CD-ROM.
- [34] TOWNSEND, C. W., ALBAUGH, E. K., KADASTER, A. G. (1992) A Drilling Time: A Total Quality Management Tool in the 1990s. Society of Petroleum Engineers.
- [35] ULHÔA, U.G. (2012) Preposição de diretrizes focadas na gestão para melhoria no controle de prazo de construção de empreendimentos: estudo de caso em obras da região de Brasília-DF e Goiânia-GO. 2012. 190 p. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Publicação E-TD-001 A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília.
- [36] VALLS, V. M. (2004) O enfoque por processos da NBR ISO 9001 e sua aplicação nos serviços de informação. *Ciência da Informação*, v. 33, n. 2, p. 172-178, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-19652004000200018>
- [37] VAN DER WIELE, T.; BROWN, A. (1997) ISO 9000 series experiences in small and medium sized enterprises. *Total Quality Management*, v. 8, n. 2-3, p. 300-304, 1997. <http://dx.doi.org/10.1080/09544129710297>
- [38] ZACHARIAS, O.J. (2009) ISO 9001:2008: uma ferramenta de gestão empresarial. São Paulo: 2009.

Capítulo 11

Proposta de aplicação de ferramentas da qualidade na gestão de segurança e saúde do trabalho em uma construtora

Eliane Souza de Oliveira Sarkiz

Patrícia da Silva de Souza

Alexandre Camacho da Paixão

Marcone Freitas dos Reis

Resumo: A indústria da construção civil é um dos setores de atividades laborais com altos índices de acidente de trabalho no Brasil, e esse fato se justifica pelo alto risco ao qual os funcionários são expostos, sendo extremamente necessária a adoção de ações de prevenção, que devem ser implementadas em uma organização através de ferramentas que auxiliem no processo de segurança e saúde do trabalho, para que os riscos de acidentes de trabalho sejam minimizados ou até mesmo eliminados. Esse trabalho é um estudo de caso direcionado aos problemas observados nos processos de Segurança e Saúde do Trabalho (SST) em uma empresa do ramo da construção civil, que constrói edifícios comerciais de até cinco andares, considerada de pequeno porte, localizada na Zona Oeste do Rio de Janeiro, com o objetivo de desenvolver um estudo a fim de propor um processo de gestão para controle, monitoramento e desenvolvimento dos indicadores de desempenho de SST com a utilização de ferramentas de gestão da qualidade visando a padronização, organização e controle dos processos.

Palavras chave: Ferramentas da Qualidade, Segurança e Saúde do Trabalho, Construção Civil.

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, que aconteceu nos países da Europa no século XVIII, foi um grande marco para a história da segurança do trabalho, pois devido as condições desumanas, onde pessoas, incluindo crianças eram submetidas a desenvolver atividades industriais, em situações precárias de trabalho, condições insalubres, trabalhos em espaço confinado sem nenhum tipo de segurança e longas jornadas de trabalho que só pioravam, foi fazendo com que a própria classe trabalhadora notasse a exploração, e que seria aquela situação de exposição que estava causando males a saúde, doenças e morte, aos trabalhadores. Foi a partir desse momento que a discussão no âmbito segurança e saúde do trabalho (SST) começou a ser discutida. (SANTOS, 2001 apud MACHADO, 2016, p.9)

No Brasil, os processos de SST tem seu contexto histórico dentro do período da República Velha (1889-1930), que devido aos processos de industrialização, foi desenvolvido as primeiras legislações que visava a proteção dos trabalhadores, sendo ampliada no Governo Vargas (1930-1945) com a consolidação das leis do trabalho (CLT), instituída pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. E desde então as legislações de segurança do trabalho, vem ganhando cada vez mais atenção e se aperfeiçoando a fim de melhorar as condições de execução de trabalhos nos mais diversos ramos de atividades, sendo reavaliadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) sempre que necessário. (IPEA, 2012)

Quando criado o atual Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), em 1930, o objetivo de Vargas era que a instituição cuidasse do homem brasileiro, que seria, visar os direitos dos trabalhadores, incentivar o processo de industrialização no país, assim como cuidar da categoria, que seria umas das principais bandeiras de seu governo, no caso, os trabalhadores do Brasil. (CAVALCANTI, 2006)

Giongo e Giongo (2009) esclarece que é direito de todo trabalhador exercer suas atividades laborais num ambiente favorável e seguro, visando a prevenção a exposição a riscos. Destacando ainda que um ambiente de trabalho precisa ser de qualidade, para que o trabalhador também tenha qualidade de vida.

Entretanto, Silva e Bemfica (2015) diz que uma herança da era da industrialização, que ainda compromete e muito a integridade dos trabalhadores, causando muitas doenças, acidentes e morte é a indústria da construção civil, um dos setores que mais gera oportunidade de emprego no Brasil, entretanto é um comum encontrar trabalhadores em situações precárias nesses ambientes.

As ações de SST devem estar integradas as instituições de modo que seja vista como parte dos processos de qualidade da empresa, visando garantir ações eficientes e eficazes, levando-se em conta o número de funcionários, riscos, e aplicabilidade total da legislação. (COSTA, 2009)

Implementar um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde do Trabalho (SGSST), não é sinônimo de garantia de excelência em segurança e saúde do trabalho conforme cita Oliveira (2009). Entretanto o autor destaca que ajuda uma organização a definir critérios e objetivos, servindo como indicador para prevenção de acidentes, proporcionando outra visão e envolvimento de todos dentro da empresa.

Calado (2014), cita que os SGSST são um conjunto de diretrizes definidas, através de políticas, programas, procedimentos e processos de negócio da organização para auxiliá-la a estar em conformidade com as exigências legais e demais partes interessadas, considerando aspectos como a ética e responsabilidade social.

Diante do exposto, este estudo é direcionado a um processo de gestão para controle, monitoramento e desenvolvimento dos indicadores de desempenho de SST com a utilização de ferramentas de gestão da qualidade visando a padronização, organização e controle dos processos em uma empresa de pequeno porte do ramo da construção civil, localizada na cidade do Rio de Janeiro.

2. METODOLOGIA

Visando alcançar o objetivo deste estudo, o mesmo será desenvolvido através do estudo de caso, atendendo requisitos do que estabelece as pesquisas exploratórias, e terá como base pesquisas bibliográficas e documentais.

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre segurança e saúde no trabalho, assim como sobre a utilização dos indicadores de avaliação de desempenho, a obtenção da melhoria do processo e padronização do mesmo.

O universo deste estudo foi o setor de saúde e segurança do trabalho de uma construtora de pequeno porte. E a amostra será representada pelo conjunto de indicadores de desempenho de SST da mesma.

A coleta de dados na empresa em estudo, ocorreu nos processos de SST da construtora, considerando o levantamento dos indicadores existentes, através de dados documentados referente aos anos de 2015 a 2017. Os dados foram coletados consultando documentos da empresa, tais como, relatórios com os resultados de fiscalizações, relatórios de investigação de acidentes entre outros.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica se baseia em livros, artigos, dissertações e teses, cujo tema tenha relevância para este estudo com a finalidade de dar embasamento teórico para essa pesquisa voltada para a saúde e segurança do trabalho.

3.1. INDICADORES DE DESEMPENHO

A comunidade acadêmica e as instituições do setor da construção civil se dedicam para que os conceitos e práticas que mensurem e analisem os indicadores de desempenho, entretanto esses indicadores são utilizados como deveriam pela grande maioria das organizações de construção. O sistema de indicadores de desempenho se apresenta falho pela ausência de ações adequadas que estejam associadas às estratégias funcionais. (COSTA, 2003)

A medição de desempenho pode ser contextualizada, de acordo com Neely et al. (1995, p.80) como: “[...] o processo de quantificar a eficiência e a efetividade de uma ação [...]”.

A maioria dos setores da economia nos países industrializados objetivando melhoria na qualidade e produtividade baseiam-se na certificação ISO 9000, mas na construção civil essa certificação encontra dificuldades de atuação. Nesse contexto, é necessária a implantação de sistemas de medição de desempenho que sejam eficientes na construção civil.

Inúmeros sistemas de indicadores de desempenho foram desenvolvidos para as mais diversas indústrias, incluindo a da construção civil, onde se encontram em um estágio mais avançado de desenvolvimento, utilizando de ações positivas no setor. (COSTA, 2009)

Esses sistemas de medição de desempenho assumem um papel de destaque e importância por disponibilizar informações às organizações para que a gestão organizacional consiga alcançar seus resultados pré-estabelecidos. (COSTA, 2009)

Diversas organizações realizam investimentos em sistemas de melhoria de desempenho em seus sistemas de gestão de qualidade devido à importância e necessidade da qualidade de seus produtos e serviços objetivando o aumento da competitividade e lucratividade da empresa.

Costa (2003) estabeleceu alguns critérios de avaliação de sistema de indicadores de desempenho, objetivando auxiliar pesquisadores e gestores organizacionais, se apresentando em quatro: a) definição de indicadores; b) alinhamento das medidas com estratégias; c) incorporação das medidas na rotina da organização e; d) aprendizado por meio das medidas.

Esses critérios possuem variáveis que viabilizam a mensuração. A Tabela 1 a seguir, apresenta os critérios e suas variáveis para a análise crítica.

Tabela 1 – Critérios para Análise Crítica de sistemas de Indicadores de Desempenho

Critérios	Variáveis
Definição dos indicadores	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adequação dos procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados ▪ Consistência entre os objetivos propostos para o indicador e os resultados fornecidos ▪ Facilidade de coleta e compreensão das medidas ▪ Definição dos responsáveis pela coleta, processamento e análise dos dados
Alinhamento das medidas com as estratégias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoramento de processos críticos ▪ Uso das medidas à tomada de decisão estratégica ▪ Estabelecimento de metas para as medidas
Realização de Benchmarking	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso das medidas para comparação interna ▪ Uso das medidas para comparação externa
Incorporação das medidas na rotina organizacional	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Descentralização da coleta, processamento e análise dos dados ▪ Uso das medidas à tomada de decisão da média e alta gerência ▪ Relação custo-benefício da medida ▪ Disseminação eficaz dos resultados das medidas
Aprendizagem através do uso das medidas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Melhorias nos processos a partir do uso dos indicadores ▪ Evolução do sistema de indicadores ao longo do tempo ▪ Reflexão sobre os resultados obtidos com as medidas

Fonte: Costa (2003)

3.2. GESTÃO DA QUALIDADE

Os sistemas de gestão atualmente caracterizam-se como práticas comuns que algumas organizações adotam na racionalização e globalização de processos. São sistemas com parâmetros diferenciados e que precisam ser entendidos, estar sob análise e serem monitorados contínua e constantemente, traduzindo e refletindo a eficiência e eficácia que conduz esse sistema de gerenciamento. As ações de prevenção são estratégias de gestão que por meio de controle e monitoramento das condições e ambientes laborais, acarretando como consequências benefícios importantes para empresa e funcionários, como aumento na produtividade e redução no índice de ocorrências de acidentes e incidentes de trabalho. Nesse contexto, existem inúmeras dificuldades como o alinhamento dos procedimentos de segurança no que se refere aos trabalhadores terceirizados. (AMORIM e QUELHAS, 2014)

Anteriormente Gestão de Qualidade Total (GQT), o termo evoluiu para o conceito de Garantia de Qualidade (GQ). O GQT é uma filosofia administrativa e caracterizada pelo desenvolvimento dos trabalhadores, assim como sua participação de maneira significativa no aperfeiçoamento dos negócios. Esses indivíduos são incentivados em suas habilidades específicas, intelectuais e sociais, para que se atenda às demandas da sociedade como um todo. (ROSA, 2007)

Objetivando a garantia da qualidade de produtos e serviços, faz-se necessária a criação de métodos e ferramentas eficazes e eficientes, que tenham a capacidade de resolver problemas observando os métodos e aplicando a ferramenta correta. Entre as mais utilizadas, encontram-se: o ciclo PDCA – *Plan, Do, Check and Action*, criada pelo norte americano William Edwards Deming, estatístico e considerado por muitos autores como o pai do controle de qualidade da modernidade; modelo seis sigmas, que se caracteriza como uma estratégia de gerenciamento de mudanças com o intuito de aceleração do aprimoramento dos processos, produtos e serviços; 5W2H e 5S. (JESUS, 2011)

3.3. SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

A segurança e saúde do Trabalho pode ser caracterizada como uma metodologia direcionada à prevenção de acidentes e enfermidades ocupacionais, e que reconhece, controla e aplica ações preventivas em uma organização. E auditorias deverão fazer parte de um contexto organizacional para que os sistemas de gestão sejam eficazes e eficientes. (ALMEIDA, 2013)

O Brasil está em 3º lugar no que se refere ao número de mortes por acidentes de trabalho, e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com esses dados e estudos, junto ao Ministério da Saúde, denominou essa pesquisa como uma Pesquisa Nacional de Saúde, já que o número de 4,9 milhões de acidentes de trabalho ocorridos no país no ano de 2013, representam uma porcentagem de 5% da população total do Brasil que possui uma ocupação laboral, inclusive os autônomos, ainda de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), igualmente realizada pelo IBGE, significa um dado alarmante. (SILVA et al, 2015)

Nesse contexto há um padrão de gestão organizacional que facilita e norteia o cenário de sobrevivência e qualidade de vida no trabalho, em contraposição a um comportamento organizacional que desrespeita todo

e qualquer limite, acarretando inúmeras e severas consequências à saúde e segurança dos trabalhadores. (FIGUEIRAS, 2015)

Programas de SST são direcionados, na maioria dos casos de acordo com uma cultura ainda dominante nas organizações que atendem à legislação e se caracterizam pelo baixo desempenho e empobrecidos, e se destacam pelas situações de risco que apresentam, indo contra a Lei, e pondo-se como alvo para o Ministério do Trabalho e Emprego. (FIGUEIRAS, 2015)

O avanço da tecnologia deveria favorecer a redução do índice de acidentes de trabalho, entretanto a escolha da tecnologia a ser aplicada tende a ser seletiva, não incluindo aquelas direcionadas à segurança e saúde do trabalho, e não tem como características tecnologias que proporcionem segurança ao trabalhador. (FILGUEIRAS, 2015)

O trabalho em si apresenta riscos inerentes e caso não haja controle desses riscos as consequências acarretarão danos aos colaboradores da organização. Esse cenário exige das empresas uma conduta organizacional estabelecida por meio de normas que controlem as condições laborais de seus funcionários, garantindo sua segurança ocupacional. (REIS e KITAMURA, 2016)

Calleri (2007) considera como acidente de trabalho toda redução ou perda da capacidade laboral de um indivíduo classificado como trabalhador ocasionada por fatores que o associem às atividades trabalhistas. E nesse contexto, ainda de acordo com o ator, é necessário que existam dois critérios: a lesividade e a etiologia laboral.

O acidente de trabalho ocorre em decorrência de atividades laborais em favor de uma organização que por ventura tenha acarretado algum dano ou lesão ao trabalhador, seja uma lesão física ou funcional, de caráter permanente ou temporário, e que tenha como consequências a perda total ou parcial, a redução da capacidade laboral de um indivíduo, ou ainda a morte do sujeito. (COLOMBO, 2009)

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo da construção civil, especializada em construções de edifícios comerciais de até cinco andares, localizada na cidade do Rio de Janeiro, considerada de pequeno porte, com efetivo de aproximadamente 120 funcionários.

A empresa em questão, possui classificação de grau de risco 3, e de acordo com o dimensionamento da da NR-4 (Norma Regulamentadora), estabelece que possua um setor de serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho (SESMT).

Os riscos ocupacionais na organização são inúmeros, devido à variedade das funções desenvolvidas no ambiente de trabalho, e as medidas preventivas em relação a segurança e saúde do trabalho seguem diretrizes estabelecidas, principalmente, na NR-18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção), cabendo então ao setor SESMT aplicar, monitorar e fiscalizar os requisitos legais e obrigatórios estabelecidos nela.

4.1. ANÁLISE DO CENÁRIO DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

No período de análises dos processos de SST, pode ser observado que os processos de SST não estão vinculados aos processos de produção, não há comunicação entre SESMT e o canteiro de obra, fator que dificulta a análise das situações de perigo de maneira preventiva em determinadas atividades laborais executadas.

A existência de problemas de gestão na execução de serviços de empresas terceirizadas, faltando um padrão de rotinas na execução das atividades.

A gestão da obra não considera a segurança do trabalho como um fator importante e de destaque na empresa, e vários funcionários executam suas funções sem os devidos equipamentos de proteção individual (EPI). Na Figura 1 a seguir, pode ser verificado funcionários trabalhando sem EPI.

Figura 1 – Funcionários trabalhando sem EPI



Fonte: Autores (2019)

Falta de organização e sinalização no vestiário, banheiros e refeitório, como pode ser observado na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Lavatório quebrado



Fonte: Autores (2019)

Falta de organização e sinalização no canteiro de obras, conforme apresentado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 – Canteiro de obras sem sinalização e passagem obstruída



Fonte: Autores (2019)

O SESMT não tem metas a serem cumpridas, nem fiscalização do exercício de suas funções, não tem gestão de indicadores a serem demonstrados, discutidos e mensurados.

4.2. PROPOSTA DE APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE GESTÃO DA QUALIDADE

A fim de apresentar melhoria, visando o tratamento das falhas encontradas nos processos de SST da construtora, foi proposto:

- Foi proposto utilizar a ferramenta da qualidade 5W2H e elaboração de um plano de ação para implementar medidas de correção dos problemas identificados no setor SESMT.
- Foi proposto implementar o programa 5S na empresa como pode ser observado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Aplicação do programa 5S

Aplicação 5S				
Seiri (Utilização)	Seiton (Organização)	Seiso (Limpeza)	Seiketsu (Padronização)	Shitsuke (Disciplina)
Analisar e identificar documentos e ferramentas que realmente ajudam os processos de SST	Organizar os processos e documentos do setor, definindo identificação nos mesmos	Limpeza no canteiro de obras, vestiários, banheiros, refeitórios deve ser priorizada.	Para este processo se padronizar é necessário que o SESMT siga rigorosamente as medidas estabelecidas nos processos.	Nesta etapa, espera-se o comprometimento de todos os envolvidos da organização, envolvidos no andamento dos processos de SST.

Fonte: Autores (2019)

- Proposta de estabelecer gestão de indicadores, a fim de avaliar e monitorar periodicamente, os processos pela gestão da empresa.
- Inserir acompanhamento na rotina de liberação da execução das atividades pelo SESMT.
- Implementar diálogo diário de segurança (DDS) na rotina dos canteiros.
- Realizar padronização e controle de documentos para atender a legislação de segurança.
- Desenvolver um programa de prevenção de riscos ambientais (PPRA), no qual são identificadas as situações e agentes de risco em cada setor do ambiente de trabalho, no caso da construção civil, no canteiro de obras, e para cada situação ou agente, são designadas medidas ou ações para prevenir os acidentes a eles associados. Programa é regulamentado na NR-9 (Norma Regulamentadora) do Ministério do Trabalho.
- Realizar auditorias nos canteiros de obras, a fim de verificar se os padrões estarão sendo seguidos.
- Treinamento e capacitação dos trabalhadores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor da construção civil tem se caracterizado pela utilização de novas tecnologias, ferramentas e metodologias que objetivam a melhoria na qualidade dos produtos e serviços que são ofertados pelas organizações que fazem parte do setor. Entretanto as questões direcionadas à prevenção de acidentes nesse setor ainda são precárias e subdesenvolvidas, assim como a profissionalização dos funcionários da construção civil, ainda que o setor se caracterize como um dos mais antigos e registre um incontável número de mão de obra.

O desenvolvimento desse estudo possibilitou o conhecimento das definições e dos elementos concernentes ao canteiro de obras e a verificação da aplicação da gestão da qualidade neste local nos mais diversos aspectos.

Os funcionários da construção civil estão expostos às mais diversas situações que decorrem de uma má ou ausente supervisão e a todos os riscos que a própria profissão traz inerente. É necessário ações preventivas e orientações para que o funcionário do setor de construção civil esteja protegido, e para tanto, há todo um processo de segurança e saúde do trabalho, entre ações e leis que garantem essa imunidade laboral.

Os profissionais são responsáveis pelo alcance dos objetivos da produção no que tange à qualidade e

produtividade. Entretanto, foi observado no estudo a existência de falhas na prevenção e segurança, assim como no procedimento da realização das tarefas em todo o processo refletem a preocupação com a segurança e a saúde do trabalho.

As transformações e aplicações das ferramentas vão além da atuação no que tange a processos e metodologias. É imprescindível que haja uma boa gestão e participação, assim como informação sobre todas as etapas do processo a todos os interessados, objetivando uma integração e cooperação laboral, com vantagens para colaboradores e organização.

Conclui-se que a segurança do trabalho exerce um papel de fundamental importância e significância na indústria na construção civil, e através dela, são acarretadas melhorias no ambiente de trabalho, redução dos riscos e meios de prevenção de acidentes de trabalho.

No que se refere à segurança do trabalho, existem normas específicas a serem seguidas e cumpridas no setor da construção civil. Quando da observação e cumprimento dessas normas e legislações é possível alcançar resultados satisfatórios, com um custo de segurança bem inferior ao custo da sua inexistência, com a observância de penalidades em fiscalizações por parte dos órgãos competentes, assim como o custo do acidente de trabalho, por afastamento e/ou indenização do trabalhador.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, C. L. Proposta de indicadores para avaliação de desempenho dos sistemas de gestão ambiental e de segurança e saúde no trabalho de empresas do ramo de engenharia consultiva. Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Fortaleza, Ceará. 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/r>. acesso em 2019.
- [2] AMORIM, M.F.; QUELHAS, O.L.G. A Gestão da Segurança na Indústria da Construção Civil: estudo de caso tendo por base o método de avaliação de sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho – MASST. X Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Agosto de 2014.
- [3] CALADO, João Miguel Silva Marreiros. Estratégia de Implementação do Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho: Estudo de caso na MJO S.A. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Segurança e Higiene no Trabalho, Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2014. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/6449>. Acesso em: 10 out. 2019.
- [4] CALLERI, Carla. Auxílio-doença acidentário: reflexos no contrato de trabalho. São Paulo: LTr., 2007.
- [5] CAVALCANTI, Lauro. Moderno e brasileiro: a história de uma nova linguagem na arquitetura (1930-60). Zahar, 2006.
- [6] COLOMBO, C. B. O acidente do trabalho e a responsabilidade civil do empregador. 2009. 84f. Monografia (Curso de Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- [7] COSTA, D.B. Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de DEMING, William Edwards. Saia da crise. São Paulo: Futura, 2003.
- [8] COSTA, Analice Trindade. INDICADORES DE ACIDENTES DE TRABALHO EM OBRAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL E NA BAHIA. 2009. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009. Disponível em: <http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/ANALICE%20TRINDADE%20COSTA.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [9] FILGUEIRAS, V. A. Saúde e segurança do trabalho na construção civil brasileira. Aracaju: Ministério Público do Trabalho, p. 61-86, 2015;
- [10] GIONGO, Rafaela Luiza Pontalti; GIONGO, Renata Cristina Pontalti. Saúde e segurança no meio ambiente do trabalho como garantia constitucional ao meio ambiente ecologicamente equilibrado. REVISTA FAE, Curitiba, V.12, n2, p.117-131, jul./dez. 2009;
- [11] IPEA. Saúde e segurança no trabalho no Brasil: aspectos institucionais, sistemas de informação e indicadores. Organizadores Ana Maria de Resende Chagas, Celso Amorim Salim, Luciana Mendes Santos Servo. 2. ed. São Paulo: IPEA: Fundacentro, 2012. 391 p.
- [12] JESUS, A. R. Programa 5S. Comitê de Qualidade dos Correios. São Paulo, v. 65, n. 1/2, p.1-2, dez. 2011.
- [13] MACHADO, C.S. Saúde e Segurança no Trabalho. Rio de Janeiro: SESES, 2016.
- [14] NEELY, A.; GREGORY, M.; PLATTS, K. Performance Measurement System Design: a literature review and research agenda. International Journal of Operations & Production Management, v. 15, n. 4, p. 80-116; 1995.
- [15] OLIVEIRA, C.A.D. Manual Prático de Saúde e Segurança do Trabalho. 1ª edição, São Caetano do Sul, São Paulo: Yendis Editora, 2009.

- [16] REIS, F.R.D; KITAMURA, S. O controle estatal em saúde e segurança no trabalho e a auditoria do Programa de Controle Médico de saúde Ocupacional. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, 14(1), 52-9, 2016;
- [17] SILVA, A. et al. Saúde e Segurança do Trabalho na construção Civil Brasileira. Ministério Público do Trabalho. Procuradoria Regional do Trabalho da 20ª Região. Sergipe, agosto, 2015.
- [18] SILVA, A.A.R.; BEMFICA, G.C. Segurança no Trabalho na construção Civil: uma revisão bibliográfica. Revista Pensar Engenharia, v.1, n.1, jan., 2015.
- [19] ROSA, R.S. O Programa "5S" – Estudo de Caso da Suprema Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2007.

Capítulo 12

*Avaliação do crescimento e da composição da biomassa de *Chlorella vulgaris* cultivada com bicarbonato de sódio como fonte alternativa de carbono inorgânico*

Guilherme de Oliveira Mendes Ohira

Marcelo Chuei Matsudo

João Carlos Monteiro de Carvalho

Resumo: Microalgas desempenham certo protagonismo na biotecnologia devido às potencialidades de aplicações, que vão desde as indústrias farmacêutica até alimentar e de cosméticos. Não obstante, também é possível aplicá-los no tratamento terciário de efluentes e na produção de biodiesel e etanol de terceira geração. Através da suplementação de carbono inorgânico, foi possível aumentar a concentração celular máxima e produtividade em células, foram realizados cultivos de *Chlorella vulgaris* com adição de bicarbonato de sódio como fonte adicional de carbono inorgânico. Foram avaliadas duas condições experimentais em fotobiorreatores tubulares em escala de bancada, comparando Meio Basal Bold e o mesmo suplementado com bicarbonato de sódio (1 g/L). Com esta suplementação, foi possível se obter um aumento em 37% da concentração celular máxima, bem como mudanças nas proporções de lipídeos e proteínas, estatisticamente relevantes. Adicionalmente, análises de sobrenadante e perfil de ácidos graxos foram realizadas. Os resultados mostram-se promissores para a aplicação de *Chlorella vulgaris* em tratamento terciário de efluentes, bem como para obtenção de biomassa de alto valor comercial.

Palavras-chave: *Chlorella*, microalga, biomassa, bicarbonato.

1. INTRODUÇÃO

Microalgas ou são organismos unicelulares fotossintetizantes, capazes de realizar fotossíntese oxigênica e bioassimilar CO_2 . Adicionalmente, através de uma enzima chamada anidrase carbônica, é possível assimilar formas tamponantes de carbonato (ácido carbônico e íon bicarbonato), sendo possível adaptar a sua estratégia metabólica (Badger; Price, 2003). Tal adaptação apresenta uma vantagem na sobrevivência do microrganismo e pode ser traduzida em, por exemplo, aumento da concentração celular máxima, se existirem fontes alternativas de carbono. Não obstante, provocar a mudança de estratégia metabólica também pode promover variação na composição de biomassa, como concentração e perfil de proteínas, ácidos graxos e lipídeos (Nalder et al., 2015; Rodrigues-Sousa et al., 2021).

Cada fração da composição da biomassa microalgal tem interesse comercial. As proteínas podem ser utilizadas para alimentação humana ou nutrição animal, o qual se mostram de mesma qualidade, ou até superior quando comparado com proteína de plantas (Becker, 2007; Rodrigues-Sousa et al 2021). Os ácidos graxos produzidos por microalgas são semelhantes a óleos vegetais, tais como ácidos graxos saturados ou insaturados de 18 carbonos (Benemann e Oswald, 1996), podendo ser uma fonte de ácidos graxos essenciais alternativa aos peixes (Apt e Behrens, 1999). Além disso, lipídeos e carboidratos podem ser convertidos a combustíveis de terceira geração (Feng et al., 2011).

Neste trabalho, empregaram-se fotobiorreatores tubulares, em escala de bancada, para cultivos de *Chlorella vulgaris*. Os reatores foram iluminados constantemente, houve suplementação programada de CO_2 a fim de controlar o pH e o manter em valores adequados. A suplementação de bicarbonato de sódio e CO_2 foi avaliada no presente estudo. Os resultados indicam influência positiva para a taxa de crescimento específica e concentração celular máxima (37% em relação ao controle) devido a assimilação de carbono inorgânico. A concentração de 1g/L de bicarbonato de sódio foi considerada a ideal, muito embora seja possível atingir valores ainda maiores de concentração celular máxima com bicarbonato residual (Yeh et al., 2010).

Foram avaliadas duas concentrações, ambas em triplicata:

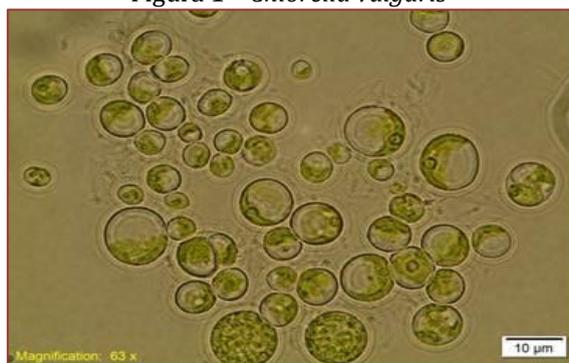
1. Meio Basal Bold (UTEX, 2010) sem suplementação de bicarbonato de sódio;
2. Meio Basal Bold com suplementação de bicarbonato de sódio no dia 0 (processo em batelada).

Dados referentes a parâmetros de crescimento celular, bem como consumo de nutrientes e perfil da composição de biomassa foram obtidos para ambas as condições.

2. METODOLOGIA

C. vulgaris cultivada nas condições experimentais foi isolada em área de mangue da Estação ecológica Jureia-Itatins (Peruíbe/SP) (Matsudo et al., 2020), Figura 1. Os cultivos foram realizados em duas condições: meio basal Bold (UTEX, 2010) sem suplementação, meio basal Bold suplementado com bicarbonato de sódio no início do cultivo (dia 0), na concentração de 1 g/L (Yeh et al., 2010). Em ambas as condições, houve a suplementação de CO_2 a fim de controlar o pH a níveis satisfatórios.

Figura 1 – *Chlorella vulgaris*



Fonte: *Chlorella vulgaris* Beijerinck (CCMA-UFSCar 689)

2.1. MEIO DE CULTURA

O meio quimicamente definido usado foi BOLD (UTEX, 2010). O mesmo apresenta a seguinte composição por litro de água destilada: 250 mg de NaNO_3 , 25 mg de $\text{CaCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 75 mg de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 75 mg de K_2HPO_4 , 175 mg de KH_2PO_4 , 25 mg de NaCl , 4,5 mg de $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,58 mg de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,25 mg de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,03 mg de ZnCl_2 , 0,012 mg de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,024 mg de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,135 mg de vitamina B12, 0,025 mg de vitamina B8 e 1,1 mg de vitamina B1.

A esterilidade do processo foi garantida pelo processo de autoclave e adição das vitaminas por meio de uma membrana de filtração (membrana com poros de 0,2 μm).

2.2. INÓCULO

Em frascos de Erlenmeyer de capacidade máxima equivalente a 500 mL, contendo 300 mL de meio basal Bold, os inóculos de *Chlorella vulgaris* foram cultivados. Os mesmos foram usados para alimentar as bateladas nos fotobiorreatores tubulares, os quais iniciaram com 100 mg/L de concentração celular.

A fim de garantir a esterilidade dos frascos, os mesmos foram autoclavados. Até que a concentração mínima para inoculação fosse atingida, os frascos ficaram sob agitação por aproximadamente 1 semana, sob intensidade luminosa de 40 μmol fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

2.3. FOTOBIORREATOR TUBULAR

Constituído por 20 cilindros de vidro transparente (comprimento igual a 50,0 cm e diâmetro interno igual a 1,0 cm), arranjados paralelamente com inclinação igual a 2% (para facilitar o escoamento do líquido). Os cilindros foram interligados por outros cilindros de silicone (mesmo diâmetro interno). O sistema possui 2L de volume máximo, sendo que o volume iluminado corresponde a 1,26 L (Rodrigues-Sousa et al., 2021).

Em sua região inferior, encontra-se um tubo na forma de "T", onde a entrada de ar comprimido é responsável pelo deslocamento da suspensão celular para um frasco na parte superior. Nesse tubo, existe uma pedra porosa ligada a uma mangueira de diâmetro interno igual a 4 mm onde ocorre a suplementação de CO_2 para manter o pH em níveis ótimos. Esse sistema é controlado pela abertura de uma válvula solenoide, acionada por um temporizador programado. A iluminação ocorre por lâmpadas fluorescentes de 18 watts, fornecendo luz na intensidade de 100 μmol fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Figura 2 – Um dos fotobiorreatores em funcionamento



Fonte: Própria

2.4. CULTIVOS E ANÁLISE DAS BIOMASSAS

Através de métodos espectrofotométricos (550nm) e correlação com uma reta padrão, o qual correlaciona absorbância com a concentração celular (massa seca), foi possível mensurar, diariamente, a biomassa (Leduy; Terrien, 1977). Adicionalmente, dados referentes a temperatura e pH foram obtidos.

Houve controle de pH a fim de manter níveis ideais para o crescimento. A suplementação foi necessária na condição somente com meio Bold quando o pH atingiu valores próximos a 10. Na condição em que se

suplementou bicarbonato de sódio a suplementação se fez necessária já no dia 0. Em ambas as condições o controle de pH se estendeu até o fim do cultivo.

O critério de parada para os cultivos foi a inspeção da variação de concentração celular, ao apresentar estabilidade, o mesmo era finalizado. Em outras palavras, ao se verificar a fase estacionária de crescimento, o cultivo era cessado.

Dados referentes ao consumo de nutrientes foram obtidos a partir das seguintes metodologias: nitrato (Protocolo 4500 (NO₃-) A e B: APHA, 2000), nitrito (Carmouze, 1994), amônio (Carmouze, 1994) e fósforo (Carmouze, 1994).

O teor de proteínas totais foi obtido pelo método de Kjeldahl e o teor de lipídios totais foi determinado pelo método de Soxhlet, por solventes orgânicos (OLGUIN et al 2001).

O perfil de ácidos graxos na fração lipídica foi analisado em um Cromatógrafo a Gás Agilent, modelo 7890, com detector de ionização de chama e coluna capilar de sílica fundida (Innowax), 30 m de comprimento x 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de polietilenoglicol no interior da coluna. O método usado foi adaptado de Rogrigues-Ract et al., (2008) e Perez-Mora et al (2016)

2.5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Os dados de crescimento foram avaliados no decorrer de cada condição experimental. Análises estatísticas, como análise de variância (ANOVA) foram realizadas através do *software* MINITAB 2017.

3. RESULTADOS

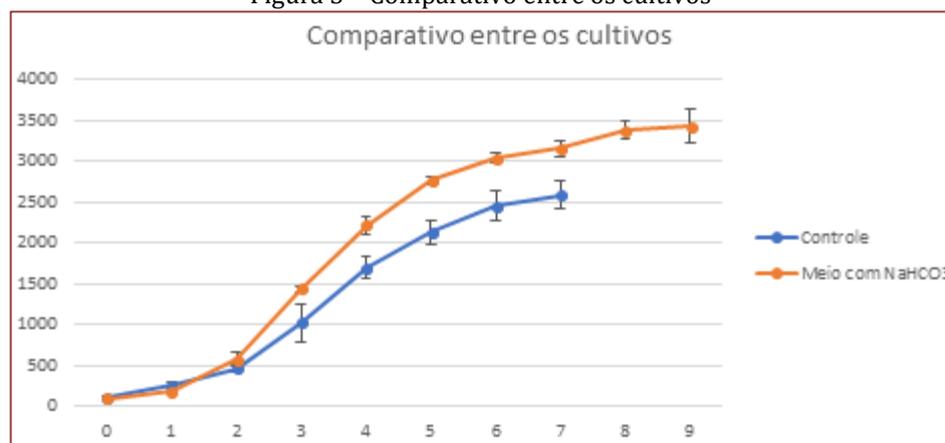
Resultados referentes ao crescimento celular, concentração celular máxima (X_m) e produtividade em células (P_x), estão dispostos na Tabela 1 e no gráfico expresso na Figura 3:

Tabela 1 – Concentrações e produtividade média dos cultivos

Amostras	X_m (mg.L ⁻¹)	P_x (mg.L ⁻¹ .d ⁻¹)
Controle	2496,19 ± 167,82	343,18 ± 22,17
Suplementado	3416,83 ± 205,06	395,15 ± 10,90

Fonte: Autores

Figura 3 – Comparativo entre os cultivos



Fonte: Autores

Para a condição controle, a duração do cultivo foi de 7 dias, enquanto para a suplementada foi de 9 dias. Embora essa última condição tenha apresentado maior duração, a produtividade em células aumentou com relação ao controle, assim como a concentração celular máxima.

A Figura 3 apresenta uma curva ordinária de crescimento exceto pela fase adaptativa, a qual, provavelmente, foi encurtada devido o emprego do meio Bold sem suplementação em ambas as etapas: inóculo e cultivo.

As Tabelas 2 e 3 a seguir apresentam os dados concentração celular e pH.

Tabela 2 – Dados do cultivo controle (X = concentração celular).

Dias	X (mg/L)	pH antes	pH depois
0	109,13 ± 8,48	6,53	
1	259,15 ± 38,27	7,26	
2	468,90 ± 57,27	10,5	
3	1021,71 ± 239,38	8,77	6,47
4	1698,59 ± 126,16	9,45	6,87
5	2132,30 ± 145,93	9,11	6,46
6	2453,51 ± 191	8,64	3,06
7	2589,93 ± 167,82	8,94	6,32

Fonte: Autores

Tabela 3 – Dados do cultivo suplementado (X = concentração celular).

Dias	X (mg/L)	pH antes	pH depois
0	101,21 ± 14,4	8,06 ± 0,36	6,57 ± 0,04
1	190,97 ± 21,29	9,40 ± 0,06	7,4 ± 0,14
2	579,41 ± 90,68	9,74 ± 0,03	7,11 ± 0,24
3	1426,64 ± 36,82	9,86 ± 0,02	7,36 ± 0,13
4	2207,75 ± 106,98	9,62 ± 0,04	7,01 ± 0,12
5	2755,78 ± 50,98	9,57 ± 0,02	7,52 ± 0,09
6	3031,96 ± 66,69	9,45 ± 0,03	6,86 ± 0,1
7	3149,13 ± 98,37	9,49 ± 0,02	7,73 ± 0,2
8	3367,83 ± 120,56	9,54 ± 0,02	7,43 ± 0,12
9	3412,81 ± 212,23	9,48 ± 0,05	7,18 ± 0,14

Fonte: Autores

Foram realizadas análises de relevância estatística como análise de variância (ANOVA), o qual revelou que a suplementação com bicarbonato de sódio a 1 g/L é estatisticamente relevante: X_m ($p=0,005$) e P_x ($p=0,033$).

Foram realizadas análises da composição de biomassa, fornecendo as proporções de lipídios e proteína, bem como do perfil de ácidos graxos:

Tabela 4 – Proporção da biomassa

Amostra	Lipídio	Proteína
Controle (%)	36,53 ± 1,60	7,77 ± 1,35
Suplementado (%)	39,57 ± 0,67	5,43 ± 0,33

Fonte: Autores

Analogamente como foi observado para concentração celular máxima e produtividade em células observado, o bicarbonato de sódio a 1 g/L foi responsável por influenciar estatisticamente a proporção de lipídios e proteína ($p=0,039$ e $p=0,044$, respectivamente, por ANOVA).

Foram realizadas análises de consumo de nutrientes. Esses dados estão dispostos na Tabela 5:

Tabela 5 – Consumo de nutrientes

Amostras	N total Inicial (mg.L ⁻¹)	N total Final (mg.L ⁻¹)	Consumo (%)
Controle	59,34 ± 15,32	0,92 ± 1,43	98 ± 0,02
Suplementado	59,34 ± 15,32	1,00 ± 0,14	98,3 ± 0,002
	Fosfato Inicial (mg.L ⁻¹)	Fosfato Final (mg.L ⁻¹)*	Consumo (%)
Controle	140,63 ± 16,54	52,40 ± 39,02	63 ± 0,28
Suplementado	140,63 ± 16,54	27,85 ± 7,13	80 ± 0,05

Fonte: Autores

Os resultados são fortes indicativos de que a *C. vulgaris* é eficiente na remoção de nitrogênio do meio. Para o meio suplementado, o consumo de ambos os nutrientes se mostrou maior devido ao crescimento superior de biomassa, bem como a possibilidade de prosseguir com o cultivo por maior tempo.

Tabela 6 – Análise dos ácidos graxos

Amostras	AGS	AGMI	AGPI	AGPI/AGS
Controle (%)	30,35	38,84	24,66	2,09
Suplementado (%)	32,39	40,52	21,47	1,91

Fonte: Autores

Os ácidos graxos são classificados como: Ácidos Graxos Saturados (AGS), Ácidos Graxos Monoinsaturados (AGMI) e Ácidos Graxos Poli-insaturados (AGPI). A relação AGPI/AGS não motivou análise de relevância estatística, como foi processado para dados anteriores.

O perfil de ácidos graxos está disposto na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Perfil dos ácidos graxos

Amostra	Controle (%)	Suplementado (%)
C11:0	0,41 ± 0,09	0,37 ± 0,02
C16:0	28,42 ± 1,85	29,61 ± 1,15
C16:1	1,32 ± 0,25	1,04 ± 0,06
N.I.	1,79 ± 0,46	1,52 ± 0,20
C17:1	3,29 ± 0,78	3,09 ± 0,31
N.I.	1,91 ± 0,19	2,04 ± 0,16
C18:0	1,52 ± 0,92	2,41 ± 0,12
C18:1n9C	34,23 ± 6,48	36,39 ± 1,87
C18:2n6c	10,43 ± 3,01	8,19 ± 0,84
C18:3n6	14,22 ± 2,79	13,28 ± 0,99

C11:0 ácido undecanóico; C16:0 ácido palmítico; C16:1 ácido palmitoleico; C17:1 ácido cis-10-heptadecenoico; C18:0 ácido esteárico; C18:1n9c ácido oleico; C18:2n6c ácido linoleico; C18:3n6 ácido γ-linolênico.

Picos não identificados foram conotados como N.I. (Não Identificado). Verifica-se que os ácidos graxos mais abundantes, na biomassa de *Chlorella vulgaris* obtida neste estudo, são ácido oleico (C18:1) e ácido palmítico (C16:0), representando até 36,39 e 29,61% do total de ácidos graxos, respectivamente.

4. DISCUSSÃO

4.1. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

A análise de relevância estatística indicou que a influência da suplementação de bicarbonato de sódio a 1g/L é relevante estatisticamente para parâmetros relacionados ao acúmulo de biomassa (concentração celular máxima, produtividade em células), bem como a proporção de biomassa (lipídeo e proteína).

Para concentração celular máxima, é possível constatar um aumento de 37% com relação ao controle. Analogamente, também ocorreu um aumento na produtividade em células, muito embora o cultivo tenha durado mais dias que a condição controle. O aumento substancial se deve a enzima anidrase carbônica, o qual consegue catalisar uma reação que converte íon bicarbonato em CO₂, sendo esse último um agente de suma importância para o ciclo de Calvin (Madhumanti et al., 2016). Devido às características tamponantes

das espécies químicas geradas pelo bicarbonato de sódio (ácido carbônico, íon carbonato e íon bicarbonato) foi possível constatar o aumento substancial do pH no dia 0 do cultivo suplementado.

Valores superiores a 1 g/L de bicarbonato de sódio apresentam também valores superiores de concentração celular máxima. Porém, nessas concentrações, é possível constatar que existe concentração residual do mesmo. Logo, a concentração usada no presente estudo é considerada ótima (Yeh et al., 2010).

O fato da produtividade em células se manter superior, mesmo que em mais dias de cultivo, na condição suplementada indica que o íon bicarbonato é assimilado por uma cinética mais lenta (por isso o cultivo se prolongou), porém que ocorre concomitantemente com a cinética observada na condição controle (por isso foi observável maior produtividade). Tal resultado corrobora para observação empírica de que organismos fotossintetizantes capazes de assimilar tanto dióxido de carbono quanto íon bicarbonato dissolvidos consomem preferencialmente dióxido de carbono, uma vez que a cinética é mais rápida. Sendo uma vantagem para o bicarbonato de sódio possuir maior solubilidade quando comparado com dióxido de carbono.

A proporção de lipídeos e proteínas se mostrou estatisticamente relevante entre as condições de cultivo. Na condição controle é possível notar maior proporção de proteínas e menor de lipídeos. Uma vez que o nitrogênio desempenha um papel essencial no acúmulo de proteínas, o consumo do mesmo está intimamente ligado com a razão pela qual existe diferença estatística na proporção de biomassa. Considerando que é possível constatar na Tabela 5 o consumo de nitrogênio em ambas as condições foi próximo do total, e que os dias de cultivo da condição suplementada foram superiores ao do controle (9 e 7 dias respectivamente), é razoável supor que houve momentos no qual não foi possível sintetizar proteínas pela falta de nitrogênio (provavelmente nos últimos dias de cultivo). Por tanto a estratégia metabólica teve que ser ajustada para que a multiplicação celular não cessasse, possível de constatar pela Figura 3 e Tabela 3. Uma forma de alterar essa estratégia é acumular lipídeos ao invés de proteínas, o qual é constatável na Tabela 4.

A remoção de fosfato aumentou substancialmente entre as condições, de 63% na condição controle para 80% na condição suplementada. O consumo de fosfato aumentou, provavelmente, devido ao maior tempo que o cultivo na condição suplementada se processou (9 dias contra 7 dias do controle). Ambos os dados de remoção de nitrogênio e fosfato evidenciam *C. vulgaris* como um microrganismo promissor para aplicação em tratamento terciário de efluentes.

O perfil de ácidos graxos, presente na Tabela 7, e a relação de AGPI/AGS, presente na Tabela 6, não motivaram análises de relevância estatística devido a baixa variação entre as condições. Esses dados evidenciam que a suplementação de bicarbonato de sódio a 1 g/L não exerceu influência significativa nesses parâmetros.

A hipótese sobre a proporção de lipídeos e proteínas corrobora para que, uma vez incorporado o íon bicarbonato através da anidrase carbônica, o mesmo seja processado da mesma forma que o gás carbônico, característica observável pelo perfil de ácidos graxos presentes na Tabela 7. Tal hipótese ganha credibilidade devido a concordância com a explicação teórica da reação catalisada pela anidrase carbônica.

4.2. AVALIAÇÃO DA BIOMASSA

A composição percentual de proteína e lipídeos pode variar de acordo com a estratégia metabólica desempenhada pelo microrganismo. Além do tempo de cultivo e fontes alternativas de carbono inorgânico, como foi verificado no presente manuscrito, diferentes condições de cultivo também podem alterar o resultado, como por exemplo: temperatura, intensidade luminosa e nutrientes em termos de qualidade e quantidade (AVILA-LEÓN et al., 2020).

É possível observar na Tabela 4 que conteúdo de proteínas diminuiu entre as condições controle e suplementado (7,77% para 5,43%, respectivamente), podendo atingir mais de 20% da biomassa (RODRIGUES-SOUSA et al., 2021). Considerando a baixa concentração de nitrogênio residual, é possível sugerir suplementação de nitrogênio a fim de se obter conteúdo mais elevado de proteínas (CARVALHO et al., 2013). Essa fração da biomassa pode ser destinada para alimentação humana (GÖRS et al., 2010) e animal (OGBONNA et al., 1997).

O conteúdo de lipídeos entre as condições controle e suplementado (36,53% e 39,57% respectivamente) reforça que, em condições estressantes como escassez de nutrientes (nitrogênio por exemplo), a estratégia metabólica da microalga estudada tende a destinar o substrato para formação de lipídeos (CONVERTI et al., 2009; AVILA-LEÓN et al., 2020, CEZARE-GOMES et al., 2019).

O perfil de ácidos graxos, apresentado na Tabela 7, indica que os ácidos graxos mais abundantes são o ácido palmítico (C16:0) e o ácido oleico (C18:1n9), como esperado para *Chlorella vulgaris* (CONVERTI et al., 2009, RODRIGUES-SOUSA et al., 2021). O ácido palmítico e os demais AGS são desejáveis para produção de biodiesel, devido a possibilidade de aumentar a estabilidade oxidativa e térmica do biocombustível (KNOTHE, 2007; KARAVALAKIS et al., 2010; CHEN et al., 2015).

Ácidos graxos em menores concentrações, como o ácido linoleico (C18:2n6) pode ser usado para alimentação humana, dada sua importância como ácido graxo essencial (TEITELBAUM et al., 2001). Não obstante, o ácido γ -linolênico (C18:3n6) também pode ser interessante para suplementação, dados seus benefícios à saúde humana (TALLIMA e EL RIDI, 2018).

5. CONCLUSÃO

O presente estudo apresenta a suplementação de bicarbonato de sódio a 1 g/L como proveitosa, isso se deve ao fato de *C. vulgaris* ter a capacidade de mudar sua estratégia metabólica de forma eficiente. Os resultados obtidos foram superiores em relação a condição controle, aumentando em 37% a concentração celular máxima. Embora o cultivo suplementado tenha durado mais dias, foi possível constatar também o aumento de produtividade em células.

O aumento da produtividade e maior concentração celular máxima, ilustram a influência do bicarbonato de sódio suplementado a 1 g/L. É razoável caracterizá-lo como um agente responsável pelo favorecimento da fotossíntese. A adição do composto tornou viável, em taxas superiores a condição controle, cultivos mais prolongados e com maior remoção de fósforo. Os autores sugerem estudos de suplementação de bicarbonato de sódio com controle de pH constante, a fim de aumentar a disponibilidade de íons bicarbonato, sendo possível aumentar as taxas de reação da anidrase carbônica.

O consumo elevado de nitrogênio e fosfato sugerem que *Chlorella vulgaris* é um microrganismo interessante para o tratamento terciário de efluentes. A suplementação com bicarbonato de sódio induz maior produção de lipídeos sem alterar o perfil de ácidos graxos significativamente, o qual é ideal para produção de biodiesel.

REFERÊNCIAS

- [1] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association., 1915.
- [2] APT, Kirk E.; BEHRENS, Paul W. Commercial developments in microalgal biotechnology. Journal of phycology, v. 35, n. 2, p. 215-226, 1999.
- [3] AVILA-LEÓN, Ivan A. et al. Evaluation of Neochloris oleoabundans as sustainable source of oil-rich biomass. Brazilian Journal of Chemical Engineering, p. 1-8, 2020.
- [4] BADGER, M.R; PRICE, G.D., 2003.CO2 concentrating mechanisms in cyanobacteria: molecular components, their diversity and evolution.
- [5] BECKER, E. Wolfgang. Micro-algae as a source of protein. Biotechnology advances, v. 25, n. 2, p. 207-210, 2007.
- [6] BENEMANN, J.R; OSWALD, W.J., 1996.Systems and economic analysis of microalgae ponds for conversion of CO2 to biomass. Final report.
- [7] CARMOUZE, Jean-Pierre. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. Edgard Blucher, 1994.
- [8] CARVALHO, João CM et al. Cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis by fed-batch process. In: Advanced biofuels and bioproducts. Springer, New York, NY, 2013. p. 781-805.
- [9] CEZARE-GOMES, Eleane A. et al. Potential of microalgae carotenoids for industrial application. Applied biochemistry and biotechnology, v. 188, n. 3, p. 602-634, 2019.
- [10] CHEN, Wei et al. A novel feedstock for biodiesel production: the application of palmitic acid from Schizochytrium. Energy, v. 86, p. 128-138, 2015.
- [11] CONVERTI, Attilio et al. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of Nannochloropsis oculata and Chlorella vulgaris for biodiesel production. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 48, n. 6, p. 1146-1151, 2009.
- [12] Feng, Y., Li, C., Zhang, D., 2011. Lipid production of Chlorella vulgaris cultured in artificial wastewater medium. Bioresour. Technol.

- [13] GÖRS, Manuela et al. Quality analysis of commercial *Chlorella* products used as dietary supplement in human nutrition. *Journal of Applied Phycology*, v. 22, n. 3, p. 265-276, 2010.
- [14] KARAVALAKIS, George; STOURNAS, Stamoulis; KARONIS, Dimitrios. Evaluation of the oxidation stability of diesel/biodiesel blends. *Fuel*, v. 89, n. 9, p. 2483-2489, 2010.
- [15] KNOTHE, Gerhard. Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Processing Technology*, v. 88, n. 7, p. 669-677, 2007.
- [16] LEDUY, A; THERIEN, N., 1977. An improved method for optical density measurement of the semimicroscopic blue green alga *Spirulina maxima*.
- [17] MADHUMANTI, M; SAUMYAKANTI, K; TIWAKARI, O.N; GAYEN, K; HALDER, G.N., 2016. Role of carbonic anhydrase on the way to biological carbon capture through microalgae – A mini review.
- [18] MATSUDO, M.C.; SANT'ANNA, C.L. ; PÉREZ-MORA, L.S.; SILVA, R.C.; CARVALHO, J.C.M. Isolation and evaluation of microalgae from Mangrove Area in South Coast of Sao Paulo (Brazil) for lipid production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. V. 9, p. 1293-1302, 2020.
- [19] NALDER, T.D; MILLER, M.R; PACKER, M.A., 2015. Changes in lipid class content and composition of *Isochrysis* sp. (T-Iso) grown in batch culture.
- [20] OGBONNA, James C.; MASUI, Hiroyuki; TANAKA, Hideo. Sequential heterotrophic/autotrophic cultivation—an efficient method of producing *Chlorella* biomass for health food and animal feed. *Journal of applied phycology*, v. 9, n. 4, p. 359-366, 1997.
- [21] OLGUÍN, E.J.; GALICIA, S.; HERNÁNDEZ, E. ANGULO, O. The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of *Spirulina* sp. Growth on pig waste. *Bioresour Technol*, Barking, v. 77, p. 19-24, 2001.
- [22] PÉREZ-MORA, Lina S. et al. An investigation into producing *Botryococcus braunii* in a tubular photobioreactor. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 91, n. 12, p. 3053-3060, 2016.
- [23] Rodrigues-Ract, J. N.; Gioielli, L.A.; Lipídios modificados obtidos a partir de gordura do leite, óleo de girassol e ésteres de fitosteróis para aplicação em spreads. *Química Nova*. V.31, n.8, p. 1960-1965, 2008.
- [24] RODRIGUES-SOUSA, Ana Elisa et al. Nitrogen supplementation for the production of *Chlorella vulgaris* biomass in secondary effluent from dairy industry. *Biochemical Engineering Journal*, v. 165, p. 107818.
- [25] TALLIMA, Hatem; EL RIDI, Rashika. Arachidonic acid: physiological roles and potential health benefits—a review. *Journal of advanced research*, v. 11, p. 33-41, 2018.
- [26] TEITELBAUM, Jonathan E.; WALKER, W. Allan. the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. *The Journal of nutritional biochemistry*, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2001.
- [27] UTEX. Disponível em: < <https://utex.org/>>.
- [28] YEH, K.L; CHANG J.S; CHEN W.E., 2003. Effect of light supply and carbon source on cell growth and cellular composition of a newly isolated microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31.

Capítulo 13

Produção de hidrogênio (Power to Gas) e suas aplicações na matriz energética

Hélio Nunes de Souza Filho

Ennio Peres da Silva

Ana Beatriz Barros Souza

Demostenes Barbosa da Silva

Vitor Feitosa Riedel

Juarez Corrêa Furtado Júnior

Diogo Oliveira Barbosa da Silva

Resumo: Nos últimos anos houve um aumento da participação das fontes intermitentes (eólica e solar) na matriz energética de diversos países e do Brasil. Esse novo contexto contribui com a descarbonização na matriz energética e com o aumento da capacidade de produção de energia elétrica, proporcionando períodos de baixos preços de eletricidade e oferecendo uma oportunidade para o desenvolvimento de processos eletrointensivos flexíveis. O uso de medidas operacionais apropriadas relacionadas com a integração da rede elétrica existente e o mercado energético possibilita o desenvolvimento de processos denominados *Power-to-Gas* (P2G). Tais processos promovem a conversão do excedente de eletricidade para outros transportadores de energia e produtos químicos úteis, como o hidrogênio, que pode ser obtido a partir da eletrólise da água. Atualmente as principais tecnologias de produção de hidrogênio eletrolítico são: alcalina, membrana de troca de prótons (PEM) e óxido sólido (SOEC). A eletrólise alcalina é uma tecnologia madura e amplamente utilizada na indústria. A eletrólise PEM encontra-se em fase inicial de comercialização, enquanto a SOEC ainda é usada em menor escala em projetos de pesquisa e demonstração. Nesse contexto, esse estudo faz uma síntese do atual estado da arte da tecnologia de produção de hidrogênio eletrolítico, analisando sua posterior injeção em tubulações de gás natural existente no Brasil. Por fim, apresenta-se uma simulação de uma planta solar fotovoltaica e as relações entre a eletricidade produzida, a quantidade de hidrogênio gerada e as vazões que podem ser injetadas em algumas redes de gás natural existentes, desde que autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo – ANP.

Palavras-chave: Energia Solar, Hidrogênio, *Power-to-Gas*.

1. INTRODUÇÃO

Na última década, o aumento da demanda de energia e a busca por alternativas que promovam a garantia e a segurança no suprimento se tornaram essenciais por instituições governamentais em todo o mundo. A expansão da participação de fontes renováveis de energia como a solar e eólica, com a utilização adequada de suas capacidades de geração de energia, tornou-se imprescindível para se atingir um futuro energético sustentável (KOUCHACHVILI; ENTCHEV, 2018).

Analisando o cenário nacional, onde a matriz elétrica é predominantemente renovável e sustentada na maior parte pela fonte hidráulica, o consumo de energia elétrica per capita vem crescendo acima da evolução do PIB, elevando a intensidade energética da economia brasileira em torno de 2 % ao ano. Na ausência de melhorias em eficiência, a demanda energética crescente tem sido sustentada também por uma ampliação das fontes térmicas não-renováveis, principalmente gás natural, em um processo de carbonização da matriz elétrica brasileira. A média diária de produção de gás natural em 2020 foi de 127 milhões de $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ (ANP, 2021). Com isto, a participação dessa fonte na oferta interna de energia nacional atingiu o patamar de 12,2 % (EPE, 2020).

Apesar da diminuição da participação relativa da geração elétrica a partir da fonte hidráulica, esta fonte ainda responde por 64,9 % da capacidade de potência instalada, enquanto outras fontes renováveis de energia, como eólica e solar fotovoltaica, apresentam uma fatia do mercado de 8,6 % e 1 %, respectivamente (EPE, 2020). Em relação ao crescimento da oferta em 2019, essas fontes obtiveram um crescimento significativo da participação na capacidade instalada de geração, de 15,5 % na geração eólica e 92,2 % na geração fotovoltaica (EPE, 2020).

Com o aumento da parcela de energias renováveis com maiores variações de produção diárias e sazonais, prevê-se em alguns cenários a produção excedente de eletricidade em relação a demanda. Este incremento pode ocasionar instabilidade nos sistemas de transmissão de eletricidade, a menos que sejam aplicadas medidas preventivas que proporcionem a segurança do sistema. Uma dessas medidas refere-se aos processos denominados *Power-to-Gas* (P2G), que promovem a conversão do excedente de eletricidade para outros transportadores de energia e produtos químicos úteis, dentre eles o hidrogênio (ARYAL; PEDERSEN, 2017).

Atualmente, cerca de 26 países apresentam projetos com a tecnologia de produção de hidrogênio eletrolítico. Muitos países, predominantemente localizados na Europa, têm entre quatro e nove projetos concluídos, operacionais ou planejados com utilização da tecnologia de P2G. Outros quinze países (incluindo a Groenlândia) foram identificados como anfitriões de até três projetos, e a Alemanha destaca-se como líder em projetos de hidrogênio no mundo (QUARTON; SAMSATLI, 2018).

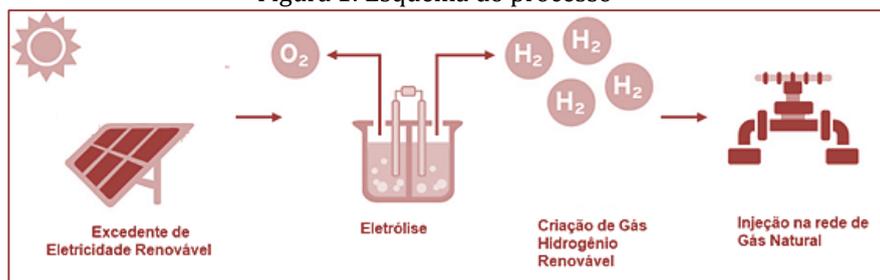
Os projetos com a tecnologia do hidrogênio apresentam uso final diversificado como, por exemplo, um meio de armazenamento energético de forma a fornecer estabilidade aos sistemas energéticos com participação de fontes renováveis em sua matriz energética, através de sua reconversão em eletricidade ou injetado na rede de gás na forma de P2G, dentre esses projetos 19 % injetam hidrogênio diretamente na rede de gás natural e 8 % injetam metano, produzido a partir do H_2 . Outros usos comuns para o hidrogênio são para aquecimento e como matéria-prima industrial (QUARTON; SAMSATLI, 2018).

A distribuição do gás hidrogênio da unidade geradora até o consumidor final é tecnicamente viável através de gasodutos próprios para esse gás, que operam em vários locais, incluindo EUA, Alemanha, Holanda, França e Bélgica. No entanto, a extensão de tais sistemas de dutos é limitada em relação à demanda futura do gás, não fornecendo uma base extensa para o aumento rápido da implantação do hidrogênio. Em certas partes do mundo, na Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos, existe uma infraestrutura significativa para a transmissão e distribuição de gás natural. Essa infraestrutura pode ser aproveitada para facilitar a entrega de H_2 , além de atuar como uma grande fonte de capacidade de armazenamento de baixo custo (PANFILOV, 2016).

Para esse gás, existem três tipos principais de tecnologias de eletrólise da água: alcalina, membrana de troca de prótons (PEM) e óxido sólido (SOEC). A eletrólise alcalina é uma tecnologia madura e amplamente utilizada na indústria. A eletrólise PEM encontra-se em fase inicial de comercialização, enquanto a SOEC ainda é usada em menor escala em projetos de pesquisa e demonstração (ARYAL; PEDERSEN, 2017).

Este estudo propõe a interação entre as infraestruturas de eletricidade e gás natural, projetando uma usina fotovoltaica (UFV) que estará interligada à rede de energia elétrica, e que suprirá tanto a demanda dos eletrolisadores quanto abastecerá a rede de distribuição. O hidrogênio eletrolítico será injetado em um gasoduto de gás natural e serão verificadas as mudanças no Poder Calorífico Superior (PCS) e no Índice de Wobbe (IW) da mistura do gás, conforme mostra a Figura.1.

Figura 1: Esquema do processo

Fonte: **SOCALGAS**, 2021.

Dentre os parâmetros utilizados para as especificações necessárias do gás natural distribuído no Brasil, descritos na Norma Brasileira NBR 15.213, pode-se calcular as propriedades físico-químicas a partir da composição do gás, dentre os quais os citados PCS e IW, conforme Equação 1 e 2, respectivamente (ABNT, 2005).

$$PCS = \sum_{j=1}^N x_j \times PCS \quad (\text{Equação 1})$$

$$IW = \frac{PCS}{\sqrt{d}} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

PCS é o poder calorífico superior do gás real em base volumétrica;

x_j é a fração molar do componente j ;

IW é o índice de Wobbe do gás real;

d é a densidade relativa do gás real.

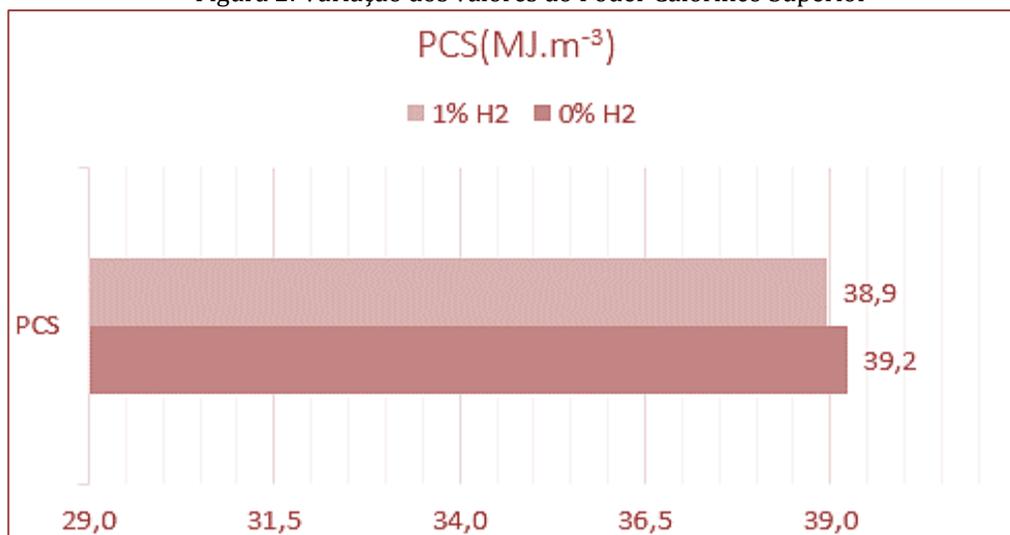
Segundo essa NBR, o PCS é a quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante, enquanto o IW expressa a relação entre o PCS e a densidade relativa do gás (ABNT, 2005). Quanto maior o número Wobbe de um gás, maior o fluxo energético que fluirá através de um orifício de um determinado tamanho em um determinado período de tempo. Portanto, é uma medida de intercambiabilidade de gases, bem como de sua aplicabilidade para uso final, seja doméstica ou industrial (GONDAL, 2018).

A norma da Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural ANP Nº 16 (2008) estabelece como limites para o PCS e 35,00 a 43,00 MJ.m⁻³ (regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e 34,00 a 38,4 MJ.m⁻³ (região Norte), e, para o IW 46,50 a 53,50 MJ.m⁻³ (regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e 40,50 a 45,00 MJ.m⁻³ (região Norte). Estes índices são os principais parâmetros para a permutabilidade de gases combustíveis e suas faixas permitidas são especificadas para o fornecimento de gás e serviços de transporte, de acordo com as regras específicas do país e padrões internacionais de rede (ANP, 2008). Esta norma, que estabelece a especificação do gás natural comercializado no país, não especifica a quantidade permitida de gás hidrogênio de forma que esse gás, em princípio, pode ser acrescentado ao gás natural, dependendo das características da tubulação de gás, válvulas compressores e desde que não altere os indicadores citados.

A partir dos dados referentes à vazão de gás natural, em m³.h⁻¹, autorizados pela ANP em 2019, é proposto um cenário de produção de 866,7 m³.dia⁻¹ de hidrogênio, equivalente a 1 % da vazão diária de gás natural de 86.667 m³.dia⁻¹ no trecho do gasoduto da Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG) em Campo Grande/MS (ANP, 2020). Em seguida, esse valor é dividido pelo número de horas de injeção na rede, obtendo um valor da vazão constante de 36,1 m³.h⁻¹ (ou seja, 867,7 / 24) Considerou-se esse um valor mínimo, uma vez que ainda será necessária a criação de normas específicas no país para regular a injeção de hidrogênio na forma de *power-to-gas*.

Após essa injeção de hidrogênio na forma de *Power-to-Gas*, utilizando-se as Equações 1 e 2 foram calculadas as alterações do PCS na rede de gás natural, e os resultados são apresentados na Figura 2.

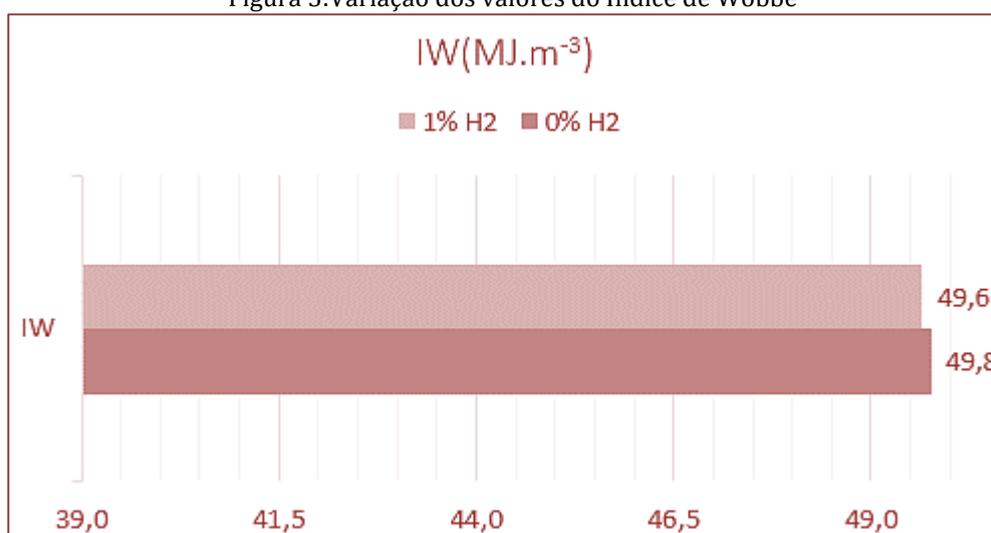
Figura 2: Variação dos valores do Poder Calorífico Superior



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme verificado na Figura 2, a adição de hidrogênio no gás natural provoca diminuição nos valores de PCS, em decorrência da diferença dos valores de PCS do hidrogênio ($11,89 \text{ MJ.m}^{-3}$) e do metano ($37,04 \text{ MJ.m}^{-3}$), principal constituinte do gás natural. A adição de percentual de 1 % de volume proporcional de H_2 promoveu variação no índice, porém está dentro dos valores mínimos estabelecidos pela norma da ANP, cujo limite inferior é de 35 MJ.m^{-3} . Na Figura 3, temos e as mudanças nos valores IW.

Figura 3: Variação dos valores do Índice de Wobbe



Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação aos valores encontrados para injeção de 1 % de hidrogênio, o IW apresenta variações dos valores, porém dentro dos parâmetros estabelecidos nas normas regulamentadoras (ou seja, de limite inferior de $46,5 \text{ MJ.m}^{-3}$).

Portanto, para as proporções adotadas, os valores encontrados do PCS e IW estão dentro dos parâmetros estabelecidos nas normas regulamentadoras, sendo tecnicamente possível a inclusão desses teores de hidrogênio na rede de gasodutos do país.

O intervalo de IW definido por especificações técnicas, que limitam a flutuação da composição que pode ser permitida, não requer intervenções técnicas nos dispositivos conectados à rede (GUANDALINI *et al.*, 2017). Assim, a injeção de hidrogênio oferece mais desafios em termos de impacto na operação da rede e nos clientes. De fato, o hidrogênio volumétrico, térmico e químico possuem propriedades que diferem fortemente das espécies típicas do gás natural (GUANDALINI *et al.*, 2017). De qualquer forma, pode-se

concluir que o percentual de hidrogênio considerado, 1 % em volume, manteve os dois parâmetros dentro do que especificado pela norma da ANP.

2. ESTUDO PROPOSTO

O gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), administrado pela Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil (TBG), com 2.593 km de extensão, transporta o gás natural que vem da Bolívia até o mercado brasileiro, passando por 136 municípios em cinco estados: Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (TBG, 2019).

O local escolhido para a instalação do empreendimento considerado nesse estudo é o município de Campo Grande/MS, que possui diversos fatores que o viabiliza: a sua localização geográfica e sua irradiação solar média de $5,02 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ para o plano inclinado, e a irradiação solar para o plano inclinado com angulação igual à latitude tem um valor médio de $5,22 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, o qual foi utilizado no cálculo, como mostra a Figura 4 (CRESESB, 2019).

Figura 4: Irradiação solar para a região de Campo Grande/MS

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [$\text{kWh}/\text{m}^2\cdot\text{dia}$]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,63	5,64	5,30	4,80	4,03	3,76	3,92	4,81	4,93	5,43	5,91	6,10	5,02	2,34
✓	Ângulo igual a latitude	20° N	5,14	5,40	5,42	5,34	4,84	4,70	4,81	5,57	5,20	5,30	5,45	5,48	5,22	,87
✓	Maior média anual	19° N	5,18	5,42	5,42	5,32	4,81	4,66	4,78	5,54	5,20	5,32	5,48	5,52	5,22	,88
✓	Maior mínimo mensal	26° N	4,92	5,24	5,36	5,41	4,99	4,90	5,00	5,69	5,19	5,18	5,23	5,22	5,19	,79

Fonte: CRESESB (2019)

A Usina Fotovoltaica (UFV) proposta está situada na Latitude: $20^{\circ} 26' 34''$ Sul e Longitude: $54^{\circ} 38' 47''$ Oeste. A partir dos dados descritos anteriormente, é proposto um cenário de produção de $866,7 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$ de hidrogênio, equivalente a 1 % da vazão diária de gás natural. Como a UFV e os eletrolisadores estão conectados à rede, estes últimos podem operar 24 horas por dia, produzindo hidrogênio a uma pressão de saída específica no trecho e vazão constante de $36,1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Após a produção, o hidrogênio é armazenado em tanques com pressão variável, possibilitando a sua injeção no gasoduto, antes da estação de compressão, utilizando a estrutura já disponível no próprio do gasoduto. A UFV suprirá a demanda energética imediata dos eletrolisadores e seu excedente de geração será injetado na rede, sendo recuperado nos horários onde a produção solar não é suficiente, mantendo a produção constante de gás.

3. RESULTADOS

Os painéis utilizados para a geração de energia elétrica através da fonte solar são de p-Si, da marca Global Brasil, com 330 Wp de potência, eficiência de 16 % e área de $1,9 \text{ m}^2$. O eletrolisador escolhido apresenta um consumo médio de 5,4 kWh para cada m^3 de hidrogênio produzido.

A UFV suprirá a demanda energética imediata dos eletrolisadores e seu excedente de geração será injetado na rede, sendo recuperado nos horários onde a produção solar não é suficiente, mantendo a produção constante de gás.

O consumo diário dos eletrolisadores será de 4.679 kWh ($36,1 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \times 5,4 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3} \times 24\text{h}$). e a produção diária média de eletricidade de cada painel fotovoltaico de $1,72 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Portanto, o número de painéis requeridos será 2.721 painéis ($4.679 \text{ kWh} / 1,72 \text{ kWh}$) e a potência total da planta será de aproximadamente 1MWp [$2720 \times 330\text{Wp} \times (10^{-6} \text{ MW/Wp}) = 0,9 \text{ MWp}$].

A área a ser ocupada dependerá do arranjo a ser utilizado, sendo usual haver um espaçamento entre as linhas de painéis. Apenas como referência, adotando-se 1 ha para cada 1 MWp, a área a ser ocupada será de 1 ha. Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos.

Tabela 1: Dimensionamento da UFV

DIMENSIONAMENTO DE UFV	
Potência/Área do Painel/Produção diária(un.)	330 Wp/1,9 m ² /1,72 kWh
Consumo diário do eletrolisador	4679 kWh
Painéis requeridos/Potência Total da Planta	2.721/ 1 MWp
Área total	1 ha

Fonte: Elaborado pelos autores

4. CONCLUSÃO

Em relação às vazões máximas de H₂ que podem ser injetadas na forma de P2G, verificou-se que a inclusão de 1 % de hidrogênio promoveu diferenças nos parâmetros PCS e IW do gás transportado, no entanto, estes se mantiveram dentro das especificações estabelecidas pelas normas da ANP. Com relação à planta solar fotovoltaica necessária para a inclusão de 1 % de hidrogênio no GASBOL, chegou-se a uma área de aproximadamente 1 ha. Dessa forma, observou-se que ainda há margem para aumentar o teor de hidrogênio sem comprometer os limites do PCS e do IW do gás transportado.

A utilização de hidrogênio na rede de gás natural existente está relacionado a sua concentração nas tubulações, pois as mesmas foram projetadas para transportar apenas gás natural. Com a inclusão de hidrogênio na rede, existe a possibilidade de afetar a integridade dos dutos de distribuição e o desempenho do equipamento de uso final. Nesse sentido, para inclusão de maiores teores de hidrogênio será necessário mudança nos componentes, manutenções preventivas regulares na rede, a fim de proporcionar um transporte seguro da mistura de gases.

A injeção de H₂ na forma de P2G na rede de gás natural pode desempenhar um papel crucial na descarbonização de sistemas de energia. O uso de hidrogênio como vetor energético pode garantir a flexibilidade para a rede elétrica que é influenciada pela intermitência e flutuação das fontes de energia renováveis. Para isso seria necessário mudanças nas normas vigentes e adequações da infraestrutura de gasodutos e equipamentos de uso final no país.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seu agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Base Energia Sustentável, à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e ao Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos (PSE) pelo suporte e apoio financeiro para a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15.213:2005: Cálculo do poder calorífico, densidade, densidade relativa e índice de Wobbe de combustíveis gasosos a partir da composição, Brasil, 2005, 44p;
- [2] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, BIG - Banco de Informações de Geração, 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>
- [3] ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Painel Dinâmico de Movimentação de Gás Natural em Gasodutos de Transporte autorizados pela ANP. Rio de Janeiro, 2020 Disponível em <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODIxY2RlMDEtNWU2Ny00MzRhLWEzYjgtODdlZDI3ZmJmNzczIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTExNGFmY2FkYzkyMjY5>>
- [4] ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural-2020. Encarte de consolidação da produção - 2020. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/bmp/2020/2020-012-boletim.pdf>>
- [5] ANP, Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural, RESOLUÇÃO ANP Nº 16, 2008, 3p.
- [6] ARYAL N; PEDERSEN R. Gas conditioning and grid operation. Technologies and-status of methanation of biogás. Journal Future Gas, 2017.
- [7] CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>.
- [8] EPE, Empresa de Pesquisa Energéticas. Balanço Energético Nacional 2020 - Relatório Síntese / Ano Base 2019. Rio de Janeiro, 2020.

- [9] GUANDALINI, G.; COLBERTALDO, P.; CAMPANARI, S. Dynamic modeling of natural gas quality within transport pipelines in presence of hydrogen injections. *Applied Energy*, v. 185, p. 1712–1723, 2017.
- [10] GONDAL, I. Hydrogen integration in power-to-gas networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018. Disponível em < 10.1016/j.ijhydene.2018.11.164.>
- [11] KOUCHACHVILI, L.; ENTCHEV, E. Power to gas and H₂/NG blend in SMART energy networks concept. *Renewable Energy*, 2018.
- [12] PANFILOV, M. Underground and pipeline hydrogen storage, in: *Compendium of Hydrogen Energy*. Elsevier, 2016. pp. 91–115.
- [13] QUARTON & SAMSATLI. Power-to-gas for injection into the gas grid: What can we learn from real-life projects, economic assessments and systems modelling? University of Bath, Claverton Down, United Kingdom. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018.
- [14] SOCALGAS. Southern California Gas Company. Power-to-Gas Technology. Disponível em: <<https://www.socalgas.com/clean-.energy/renewable-gas/power-to-gas>>.
- [15] TBG, Transportadora Brasileira gasoduto Bolívia-brasil S.A. Guia de Convivência. Disponível em<<http://www.tb.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C9FA42944514ED601446955B82D64>>.

Capítulo 14

Climatologia da irradiância solar global em Santa Maria, RS

Letícia Andressa Richter

Jivago Schumacher de Oliveira

Galileo Adeli Buriol

Resumo: O objetivo no presente trabalho foi determinar a transmissividade da radiação solar global em Santa Maria, RS. Para isto, foram utilizados os dados horários de radiação solar global (R_g) e os dados horários de brilho solar (n) registrados na estação meteorológica de Santa Maria ($29^{\circ}42' S$, $53^{\circ}42' O$ e 95 m), pertencente ao 8^o Distrito de Meteorologia - 8^o DISME, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, período de 2002 a 2010. Foram calculadas as médias, a variabilidade, a transmissividade da atmosfera e a frequência da série histórica dos dados. Os valores das médias mensais da radiação solar global foram máximos em dezembro, 24,3 MJ.m⁻².d⁻¹ e mínimos em junho, 8,1 MJ.m⁻².d⁻¹. A transmissividade da radiação foi mais elevada nos meses de verão: 55,9%, 55,4%, 54,4%, respectivamente, em dezembro a fevereiro e mais baixa nos meses de maio a setembro, sendo 45,16%, 42,4%, 45,3%, 45,5% e 44,95%, respectivamente.

Palavras-chave: Brilho solar, Energia solar, Variabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da radiação solar como energia renovável no estado do Rio Grande do Sul - RS ainda é incipiente. Entretanto, a disponibilidade deste elemento climático no estado é mais elevada do que em países de menor disponibilidade de radiação solar, mas que a utiliza em maior quantidade. Um exemplo é a Alemanha, onde, principalmente por estar localizada em latitudes mais elevadas, incide menores quantidades de radiação solar do que no estado do RS. Em 2012 em torno de 5% da energia elétrica consumida era gerada da radiação solar. Cerca de 1,3 milhões de sistemas fotovoltaicos produziram 28 milhões de quilowatt-hora (kWh), fornecendo energia elétrica para 8 milhões de residências (TERRA BRASIL, 2012).

Na região de Santa Maria, as disponibilidades de radiação solar situam-se entre as mais baixas do estado do Rio Grande do Sul. Isto já foi constatado nos primeiros estudos climático realizados para o estado (MACHADO, 1950; MORENO, 1961) e confirmado em estudos mais recentes (BERLATO, 1970; BERGAMASCHI e DIDONÉ, 1981; CARGNELUTTI FILHO, 2007; INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989; HORN et al., 2009; WREGGE et al., 2011). Os períodos com baixos valores de radiação solar em relação a outros locais do estado ocorrem principalmente nos meses de inverno e no final da primavera e início do verão, principalmente em anos do El Niño, em função principalmente do aumento da nebulosidade e nevoeiros. A menor disponibilidade de energia solar, em relação a outras regiões do estado, tem consequências tanto no aspecto técnicos, sendo necessário um aumento de área de painéis captadores de energia radiante, como socioeconômicos, gerando mais custo na aquisição e instalação, dificultado sua aquisição por parte de pessoas e empresas de menor poder aquisitivo.

No dimensionamento e instalação de um sistema de aquecimento ou de geração de energia elétrica são importantes o conhecimento da quantidade de energia a ser gerada, do índice de eficiência dos captadores solares e da disponibilidade e variabilidade local de radiação solar. Este último, dentre os três fatores, geralmente é o mais desconhecido. Desta forma, a determinação da estatística climatológica da irradiância solar local e ou regional é muito importante.

Para a região de Santa Maria, Estefanel et al. (1990), utilizando os dados diários de irradiância solar global e de brilho solar registrados nas estações meteorológicas de Boca do Monte (29°41'25" S, 53°48'42" O, 153 m), Júlio de Castilhos e São Gabriel, pertencentes à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, respectivamente dos períodos 1964-1986, 1976-1986 e 1965-1986, determinaram, para estes locais, as médias e os coeficientes a e b da equação de regressão para a estimativa da irradiância solar global a partir dos dados de brilho solar. Os dados da estação meteorológica de Santa Maria, localizada na área do Departamento de Fitotecnia, Campus da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM e pertencente ao 8º DISME, período de 1978 a 1986, também foram coletados, entretanto não foram utilizados, em função da constatação de que eram inconsistentes. No ano de 2002, nesta estação meteorológica foi instalado um radiômetro, instrumento de funcionamento eletrônico, de maior precisão que o actinógrafo. Buriol et al. (2012) relacionaram a série de dados de irradiância solar global registrados por este radiômetro, período 2002 a 2010, com aqueles do brilho solar. Entretanto, ainda não foi quantificada sua variação temporal como médias, variabilidade, frequências e transmitância solar global, ou seja, a proporção da irradiância solar global determinada no limite externo da atmosfera que efetivamente atinge a superfície terrestre.

Tendo em vista o exposto, neste trabalho, objetivou-se determinar a climatologia e a transmitância da irradiância solar global em Santa Maria, RS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados horários de irradiância solar global (R_g) registrados na estação meteorológica de Santa Maria (29°42' S, 53°42' O e 95 m), pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia - 8º DISME, do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, período de 2002 a 2010. Os dados foram obtidos do arquivo do 8º DISME, com sede em Porto Alegre. Foram utilizados, ainda, os dados horários de brilho solar (n) do mesmo período, com o objetivo, principalmente, de auxiliar a discussão das causas da variação temporal da radiação solar global, tendo em vista que a quantidade e o tipo de nuvens reduz de forma distinta a transmitância da radiação solar (MENEZES e DANTAS, 2002).

No momento, obteve-se também os dados registrados no período 2011-2018. Assim, juntou-se com aqueles do período 2002-2010, formando uma série histórica de dados mais longa: 2002-2018. Foram calculadas as médias, medianas, assimetrias, variabilidade, transmitância e frequência da série histórica de dados de irradiância solar global. No cálculo das médias mensais, primeiramente foram determinados os totais diários, pela soma dos valores horários, a seguir, somaram-se os totais diários e, estes, foram divididos pelo número de dias do mês. A partir das médias diárias foram calculadas as medianas e os coeficientes de assimetria para cada mês. A variabilidade mensal foi determinada pelo desvio-padrão e coeficiente de

variação, a frequência para intervalos preestabelecidos em função dos dados (ASSIS et al., 1996) e a transmitância pela razão de irradiância solar global (Rg), utilizando a equação 1:

$$R_g = (Q_g / Q_o) \cdot 100 \quad (1)$$

em que, Q_g é a radiação solar global medida pelo radiômetro, em MJ.m .dia e Q_o , a radiação solar global extra terrestre, em MJ.m⁻².dia⁻¹, calculada com a utilização da equação 2 (OMETTO, 1981, VIANELLO; ALVES, 1991):

$$Q_o = 37,6 \left(\frac{D}{\bar{D}} \right)^2 [H \sin(\Theta) \sin(\delta) + \cos(H) \cos(\Theta) \cos(\delta)] \quad (2)$$

sendo, \bar{D} a distância média terra-sol ($D = 149,6 \times 10^6$ km), D a distância terra-sol no momento considerado, Θ a latitude do local, δ a declinação solar e H o ângulo horário do nascer do sol. Os valores da relação (\bar{D}/D) e da declinação solar (δ) foram calculadas com a utilização, respectivamente, das equações 3 e 4 (SPENCER, 1971):

$$\left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos(X) + 0,001280 \sin(X) + 0,000719 \cos(2X) + 0,000077 \sin(2X) \quad (3)$$

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos X + 0,070257 \sin X - 0,006758 \cos 2X + 0,000907 \sin 2X - 0,002697 \cos 3X + 0,001480 \sin 3X \quad (4)$$

em que, X é expresso em radianos, dado como $X = 2\pi(n - 1) / 365$, sendo n o número do dia do ano, variando de 1 a 365 para o período de 10 de janeiro a 31 de dezembro. A razão de brilho solar (R_h) foi calculada utilizando-se a equação 5:

$$R_h = n/N \quad (5)$$

em que, n é o brilho solar medido e N a duração máxima do dia solar ou fotoperíodo, calculado com a utilização de equação 6:

$$N = (2/15) \arccos(-\operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (6)$$

A transmissividade da atmosfera nos diferentes dias e meses do ano foi estimada pela equação 1, mas utilizando valores horários. Assim os valores de transmissividade foram relacionados com aqueles de n , pois sua variação é uma função dos tipos de nuvens. Os dados diários de nebulosidade foram obtidos também do banco de dados do 8º DISME. Para a quantificação da transmissividade máxima foram selecionados dias típicos, sem nebulosidade e após alguns dias após da ocorrência de precipitação pluvial e de baixa umidade do ar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores das médias (X), medianas (m), coeficientes de assimetria (a), porcentagem de dias com radiação solar global menor que a média (%), desvios padrão (σ), coeficientes de variação (CV) da radiação solar global e brilho solar e razão de irradiância solar global ou transmitância solar global $[(Q_g/Q_0)100]$ e de brilho solar mensais, estão representados na tabela 1. As médias e as medianas mensais da irradiância solar global, tabela 1, são máximas em dezembro e mínimas em junho, respectivamente 24,3 MJ.m-2.d-1 e 8,1 MJ.m-2.d-1 para as médias e 27,41 MJ.m-2.d-1 e 9,04 MJ.m-2.d-1 para as medianas, variando ao longo do ano com a menor e a maior declinação solar no Hemisfério Sul, como era esperado. A mediana mensal foi sempre superior à média mensal. Significa que a porcentagem de dias por mês com valores diários menores que a média é menor do que o número de dias por mês com valores diários maiores que a média. Os valores diários mais baixos de irradiância solar global fazem que a média fique abaixo da mediana, que é um valor que divide os dados ordenados em duas partes iguais. Isto é observado também nos resultados dos coeficientes de assimetria caracterizando uma assimetria negativa.

A variabilidade absoluta, expressa pelos desvios padrão, foi mais elevada nos meses de primavera (outubro e novembro: 3,48 MJ.m-2.d-1 e 3,26 MJ.m-2.d-1, respectivamente) e os mais baixa no final do outono e início do inverno (maio, 0,93 MJ.m-2.d-1 e junho, 0,74 MJ.m-2.d-1); os coeficientes de variação, que medem a variabilidade relativa, foram mais elevados na primavera (outubro, 19,8% e novembro, 15,4%) e mais baixos no verão (dezembro, janeiro e fevereiro: 8,0%, 7,0% e 8,2%, respectivamente).

A transmitância solar global ou razão de irradiância solar global, tabela 1, é maior nos meses de verão: 50,0%, 55,4%, 54,4%, respectivamente, em dezembro, janeiro e fevereiro e mínima nos meses de maio a setembro, sendo 45,2%, 42,4%, 45,3%, 45,5% e 45,0%, respectivamente. Isto se deve, principalmente, à maior nebulosidade e/ou maior número de dias com nevoeiros nos meses mais frios do ano como se constata pelos valores da razão do brilho solar, tabela 1.

A variação dos valores médios, medianas, desvios padrão (s), coeficientes de variação (CV) mensal do brilho solar e da razão de insolação $[(n/N)100]$, são semelhantes aqueles da irradiação solar global (Tabela 1): máximos em dezembro, 8,25h, mês com os dias mais longos do ano e mínimos em junho, 4,10h, mês com os dias mais curtos do ano e os valores da razão de brilho solar mais elevados ocorrem na estação de verão, respectivamente, 60,4%, 59,1% e 58,2% em dezembro, janeiro e fevereiro e os menores de maio a setembro, sendo em maio, 45,1%, em junho, 39,92% e setembro, 44,14%.

A menor transmitância da irradiância solar global no período de maio a setembro decorre, principalmente, pela passagem mais lenta das massas de ar pelo estado do Rio Grande do Sul, apesar de sua frequência ser semelhante ao longo de todo o ano. Observa-se que, neste período, ocorrem os menores valores de razão de brilho solar, conseqüentemente, mais tempo de céu encoberto. Além disso, é o período do ano de umidade do ar mais elevada e maior o número de dias com nevoeiros (ARAÚJO, 1930; MACHADO, 1950). Os valores da frequência da radiação solar global, tabela 2, ocorrem da classe 0 a 4 MJ.m-2.d-1 até a classe 32 a 36 MJ.m-2.d-1 nos meses de maior radiação solar (novembro, dezembro e janeiro) e 0 a 4 MJ.m-2.d-1 até 12 a 16 MJ.m-2.d-1 nos meses de menor radiação (junho e julho). A maior frequência da radiação solar global, em cada mês, ocorre nas classes mais próximas dos valores mais elevados, característica da distribuição assimétrica negativa.

Tabela 1- Média (X), mediana (m), assimetria, desvio padrão (σ), coeficiente de variação (CV) mensal da radiação solar global (Qg) e brilho solar (n), transmissividade da radiação solar global (Qg/Qo).100 e razão do brilho solar (n/N).100, registrados na estação meteorológica de Santa Maria, período 2002-2010, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Santa Maria, RS.

Meses	Qg							n						
	X	m	a	%	σ	CV	(Qg/Qo).100	X	m	a	%	σ	CV	(n/N).100
Jan	23,57	25,40	-1,09	39,19	1,65	7,00	55,40	8,25	9,50	-0,86	39,93	0,80	9,70	59,08
Fev	21,31	23,46	-1,01	41,15	1,71	8,02	54,35	7,67	9,10	-0,68	41,56	0,91	11,86	58,24
Mar	17,17	18,66	-0,69	43,08	1,74	10,13	51,30	6,53	7,50	-0,45	42,29	1,02	15,62	53,09
Abr	13,52	14,87	-0,76	39,69	1,18	8,73	50,00	6,11	7,10	-0,58	40,08	1,01	16,53	53,50
Mai	9,80	10,79	-0,49	42,15	0,93	9,49	45,16	4,82	5,35	-0,14	47,52	0,83	17,22	45,13
Jun	8,07	9,04	-0,35	43,60	0,74	9,17	42,41	4,10	4,40	0,03	48,40	0,54	13,17	39,92
Jul	9,20	11,06	-0,50	40,46	1,02	11,09	45,32	4,92	6,10	-0,25	44,66	0,79	16,06	47,13
Ago	11,22	12,8	-0,40	42,59	1,38	12,3	45,53	5,23	6,00	-0,18	44,87	0,90	17,21	47,54
Set	13,76	15,31	-0,27	47,10	1,53	11,12	44,95	5,24	5,70	-0,05	48,26	0,84	16,03	44,14
Out	17,58	19,24	-0,42	44,03	3,48	19,8	47,70	6,07	6,70	-0,16	47,76	1,92	31,63	47,46
Nov	21,13	24,16	-0,85	39,92	3,26	15,43	50,97	7,19	8,35	-0,49	40,7	1,56	21,7	53,06
Dez	24,32	27,41	-1,23	36,23	1,95	8,02	55,86	8,47	10,0	-0,90	36,6	1,11	13,11	60,37

Tabela 2 - Frequência (% de dias) da radiação solar global mensal em Santa Maria, período de 2002 a 2010, registrados na estação meteorológica de Santa Maria, RS, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Classe/ Frequência	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0 – 4	0,73	2,47	3,16	9,13	14,05	22,00	22,90	17,49	14,29	7,46	6,20	2,64
4 – 8	4,40	3,70	6,72	9,52	19,01	20,80	14,12	13,69	12,36	11,57	5,43	3,40
8 – 12	4,76	5,76	9,09	12,70	26,03	36,00	23,18	17,11	13,13	9,33	6,98	4,91
12 – 16	6,23	8,23	17,79	27,78	39,67	21,20	39,69	27,38	14,67	12,31	6,59	5,66
16 – 20	9,16	15,64	24,51	37,30	1,24			24,33	19,31	11,94	11,63	7,92
20 – 24	16,12	17,28	30,43	3,57					24,32	13,06	12,79	9,43
24 – 28	23,81	35,80	8,30						1,93	29,48	23,26	20,00
28 – 32	33,33	11,11								4,85	26,74	42,26
32 – 36	1,47										0,39	3,77

4. CONCLUSÃO

Em Santa Maria - RS, as disponibilidades de irradiância solar global variam, ao longo do ano, segundo o fotoperíodo: crescente de junho a dezembro e decrescente de dezembro a junho; a transmitância, nos meses de final do outono a início da primavera (maio a outubro), é inferior a 50% e de final da primavera a início do outono (novembro a abril), superior a 50; os valores dos coeficientes de assimetria negativos em todos os meses do ano são um indicativo de uma distribuição da irradiância solar global mais alongada com menores valores; os valores do desvio padrão são mais elevados nos meses próximos ao solstício de verão (outubro a março) e menores nos meses próximos ao solstício de inverno (abril a setembro) e variação contrária é observada para os coeficientes de variação que são mais elevados no primeiro período e menores segundo período e; os valores da frequência, ocorrem da classe 0 a 4 MJ.m-2.d-1 até a classe 32 a 36 MJ.m-2.d-1 nos meses de maior radiação solar (novembro, dezembro e janeiro) e 0 a 4 MJ.m-2.d-1 até 12 a 16 MJ.m-2.d-1 nos meses de menor radiação (junho e julho). A maior frequência da radiação solar global, em cada mês, ocorre nas classes mais próximas dos valores mais elevados, característica da distribuição assimétrica negativa.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, L. C. de. Memória sobre clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1930. 95p.
- [2] ASSIS, F. N. de; ARRUDA, H. V. de; PEREIRA, A. R. Aplicações de estatística à climatologia – teoria e prática. Pelotas: UFPEL, 1996, 161p.
- [3] BERGAMASCHI, H.; DIDONÉ. I. A. Distribuição da radiação global no Rio Grande do Sul. Agronomia Sul-Riograndense, Porto Alegre, v. 17, p. 139-148, 1981.
- [4] BERLATO, M. A. Análise de alguns elementos componentes do agroclima do estado do Rio Grande do Sul. 1970. p. 117, Dissertação (Mestrado em Climatologia Agrícola) Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura, Turrialba, 1970.
- [5] BURIOL, G. A. et al. Estimativa da radiação solar global a partir dos dados de insolação, para Santa Maria – RS. Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1563-1567, 2012.
- [6] CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Radiação solar global decendial no estado do Rio Grande do Sul – tabelas de probabilidade. Porto Alegre: FEPAGRO, 2007. p. 78 (Série Técnica FEPAGRO, nº 03).
- [7] ESTEFANEL, V. et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: 1 - Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. Rev. Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, v. 20, n. 3-4, p. 203-218, 1990.
- [8] HORN, J. F. C. et al. Disponibilidade de radiação solar em Santa Maria, RS. Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 67-76, 2009.
- [9] INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Atlas agroclimático do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989. p. 102, v. 1.
- [10] MENEZES, H. E. A.; DANTAS, R. T. Ajuste de funções para estimativa da irradiação solar difusa em Cajazeiras – PB. In: XIICONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002, Foz do Iguaçu - PR. Anais... 1 CD ROM.
- [11] MACHADO, F. P. Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950. p. 91.
- [12] MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1961. p. 42.
- [13] OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981, 425 p.
- [14] SPENCER, J. W. Fourier series representations of the position of the sun. Search, v,2, n. 5, p. 172, 1971.
- [15] TERRA BRASIL. Produção de energia solar na Alemanha bate recorde em 2012. 2012, disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/ciencia/producao-de-energia-solar-na-alemanha-bate-recorde-em-2012,7672471cd26fb310VgnCLD200000dc6eb0aRCRD.html>> Acesso em 15 de abril de 2019.
- [16] WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de Atlas climático da Região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011, 333p.
- [17] VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Impr. Univ., 1991,449p.

Capítulo 15

Construção e testes de fogões solares com materiais recicláveis – Ensino de energia renovável baseado em aprendizagem ativa

Emerson Torres Aguiar Gomes

Élida Fernanda Xavier Júlio

Cluyverth William Albuquerque Pereira

William Robson do Nascimento Gouveia

João Paulo dos Santos Pereira

Felipe César Frazão Correia

Resumo. O artigo retrata a concepção, construção e testes de fogões solares baseados em aprendizagem ativa de energia solar. O projeto foi elaborado por alunos do primeiro ano de engenharia elétrica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) visando ampliar conhecimentos da área de sustentabilidade e engenharia de energia de forma prática. Neste contexto, foram trabalhados conceitos relacionados à aprendizagem ativa associados à fundamentação de conceitos relacionados à energia solar. O processo de ensino-aprendizagem tem como justificativa inicial o conhecimento da finitude e da, já atual, escassez de combustíveis fósseis, somada à necessidade por recursos energéticos. A geração de energia a partir de fontes não combustíveis mostra-se como o caminho por onde devem ser direcionadas as pesquisas e os esforços da comunidade acadêmica. O Brasil, mais especificamente a Região Nordeste, por ter uma localização próxima à linha do equador, apresenta características extremamente favoráveis ao uso da radiação solar como fonte de energia. O processo de ensino de energias renováveis baseia-se em aprendizagem ativa por meio do projeto de construção de fogão solar com uso de materiais recicláveis e/ou reaproveitados por alunos do primeiro ano de engenharia eletrônica da UFRPE. Como resultado do projeto temos dois fogões solares construídos a um custo de cerca de R\$130,00 cada. Um dos fogões solares construídos possibilitou fritar ovo em 5 minutos, assar carne de sol em 55 minutos e frango em 45 minutos, foi alcançada a temperatura de 230°C ao se colocar o termômetro no foco do concentrador. Os testes ocorreram em um dia de céu parcialmente nublado na cidade do Cabo de Santo Agostinho-PE.

Palavras-chave: Fogão solar, Aprendizagem ativa, Ensino de Energia

1. INTRODUÇÃO

A construção de conhecimento na área de energia solar em alunos do início do bacharelado em Engenharia é sempre um desafio. A abordagem inicial da energia solar deu-se por proposta de projeto interdisciplinar para a geração de energia e soluções baseadas na sustentabilidade ambiental e financeira de alternativas para redução da emissão de gás carbônico na atmosfera. Neste contexto, o projeto proposto para alunos do primeiro ano do curso foi a construção de um fogão solar. Esta estratégia de abordagem no ensino da energia solar por meio de aprendizagem ativa visa não apenas tornar mais natural a construção do conhecimento e buscar sensibilizar o aluno para aspectos relacionados à sustentabilidade e ao papel social do engenheiro, como também auxilia na redução da evasão dos cursos de graduação em engenharia, que chega a percentuais superiores a 45% nos primeiros anos de curso (Freitas *et al.*, 2016). Segundo o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), enquanto o Brasil forma cerca de 40 mil engenheiros por ano, a Rússia, a Índia e a China formam 190 mil, 220 mil e 650 mil, respectivamente. Assim, torna-se mister a inserção de disciplinas que abordem temas tão importantes como a energia solar desde os primeiros períodos de curso por meio de aprendizagem voltada a projetos, de forma que ao final do período há um produto produzido pelo aluno e sua respectiva equipe de trabalho. Neste contexto, a Universidade Federal Rural de Pernambuco, propôs a inserção na sua matriz curricular disciplinas como Tópicos 1 e Tópicos 2 nos seus cursos de engenharia para os 2 primeiros semestres letivos.

As disciplinas de Tópicos 1 e Tópicos 2 têm em suas ementas conceitos como o papel do engenheiro na sociedade, formas organizacionais das empresas, conceitos de gerenciamento de projeto, liderança, trabalho em equipe a serem trabalhados por propostas de projetos interdisciplinares baseados em aprendizagem ativa (Bergmann e Sams, 2016), sendo conduzidos ao longo de do semestre letivo. Inicialmente, a turma foi dividida em grupos de 4 a 6 integrantes e foram discutidos por todos os possíveis temas para o projeto de aprendizagem ativa. Dentre os projetos propostos para se trabalhar pelos grupos aquele escolhido foi o de construir fogão solar com o objetivo de utilizar a abundante radiação solar na região nordeste para atender demanda de comunidades carentes por soluções que minimizem seus gastos, sendo sustentáveis. A seguir são descritos conceitos básicos de concentração solar que fundamentaram as pesquisas e os projetos elaborados por alunos do primeiro ano do curso de Engenharia Eletrônica.

O Brasil, mais especificamente a Região Nordeste, por ter uma localização próxima à linha do equador, apresenta características extremamente favoráveis ao uso da radiação solar como fonte de energia. O uso de fontes alternativas de energia é fundamental para o país, que tem em sua matriz energética cerca de 65% proveniente de hidrelétricas (EPE, 2018) e conseqüentemente, dependente do regime de chuvas. Quando se trata de concentração solar térmica, busca-se elevar a coleção de radiação nos coletores para que seja alcançado aumento na temperatura. Uma das formas de se elevar a temperatura é maximizando o produto concentração geométrica e eficiência ótica do sistema, tendo-se assim o conceito de concentração efetiva ou de fluxo.

Aumento da concentração solar torna-se imprescindível quando se deseja obter elevadas temperaturas e melhoria na eficiência térmica (Rabl, 1985). A concentração solar relaciona a área da abertura do concentrador (A_{Ap}) com a área da superfície absorvedora (A_{Abs}) (Eq. 1).

$$C = C_{geom} = \frac{A_{Ap}}{A_{Abs}} \quad (1)$$

Cumprindo a primeira e segunda leis da Termodinâmica que tratam da conservação da energia e do fluxo natural do calor que sai de um corpo com temperatura maior para outro com temperatura menor (Rabl, 1985) temos a concentração ideal para concentradores bidimensionais baseada nesse limite termodinâmico (Eq. 2):

$$C_{ideal2D} = \frac{1}{\sin^2 \theta_s} \quad (2)$$

Já para o disco parabólico, considera-se concentração em 3 dimensões, obtendo-se a concentração ideal

como a descrita na Eq. (3).

$$C_{ideal3D} = \frac{1}{(\sin\theta_s)^2} \quad (3)$$

Onde θ_s é o semiângulo de abertura do cone solar, valendo aproximadamente 4,65mrad.

A concentração ideal para concentradores em 2 dimensões é de cerca de 215 vezes a radiação solar e para 3 dimensões a concentração ideal atinge 45 mil sóis. Contudo, apenas uma pequena parte da radiação coletada é absorvida. Assim, para se alcançar elevadas temperaturas com coletores solares, além da relação de áreas, deve-se buscar elevar o fator de interceptação (2) de feixes que chegam ao absorvedor após atingirem o coletor. Assim, a concentração efetiva (Gomes, 2019) que atinge um absorvedor é fornecida pela Eq. (4).

$$C_{efetiva} = \frac{A_{Ap}}{A_{Abs}} \cdot \gamma \quad (4)$$

Onde γ é o fator de interceptação, ou seja é a razão entre os feixes de radiação que chegam ao coletor e os feixes que atingem o coletor, sendo menor que 1.

Considerando sistemas concentradores solares de baixas temperaturas, como é o caso de fogões solares, buscam-se sistemas de fácil implementação, de baixo custo para viabilizar o seu custeio pelos alunos de graduação e seu uso em comunidades carentes. Nesse contexto, foram trabalhados em termos educacionais a importância da sustentabilidade, utilização de materiais não combustíveis para geração de energia que sejam de baixo custo e que utilizem materiais recicláveis para atender a uma demanda social. A substituição do fogão a lenha por fogões solares, reduziria a emissão de CO₂, reduzindo o percentual de 27,2% de uso de lenha na matriz energética brasileira. A utilização de fogões solares por 30% da população brasileira reduziria anualmente a queima de 5,37 milhões de metros cúbicos de lenha (LION, 2013).

A região Nordeste, historicamente assolada pela seca, por temperaturas elevadas e baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) é o local propício para utilização massiva de energia solar que não está necessariamente associada à geração fotovoltaica como alguns pensam. Muitas vezes soluções para melhorar a qualidade de vida do nordestino está no uso de soluções heliotérmicas de temperatura não tão elevada, como é o caso de fogão solar.

O primeiro fogão solar foi criado pelo naturalista francês Horace de Saussure em 1767, seu modelo proposto era do tipo caixa com madeira de pinho e cobertura de lã. Em 1860, Mouchot desenvolveu o fogão solar por meio do uso de refletores solares curvados, concentrando seus raios em uma panela. Desde então, muitos modelos foram propostos e utilizados em países em desenvolvimento para reduzir a pobreza da população. No Brasil, o estudo e desenvolvimento dos primeiros fogões solares ocorreu na Paraíba na década de 1980, sendo utilizados paraboloides de superfície refletora. (Lion, 2007). Há basicamente 2 tipos de fogões solares:

- a) Tipo Caixa – em que há refletores externos e que realizam o cozimento do produto, cuja temperatura é mantida por confinamento da radiação por meio de tampas de vidro;
- b) Tipo concentrador– em que utiliza-se espelhos com formato de parábola por elas terem, em raios vindo do infinito, foco em um único ponto.

Os fogões de maior eficiência historicamente são os fogões do tipo concentrador pois atingem temperaturas superiores aos do tipo caixa, podendo não apenas cozinhar alimentos, como também assar e fritar face à elevada temperatura alcançada (Souza, 2014). Assim, o artigo trata da comparação de dois fogões do tipo concentrador, sendo o primeiro que faz uso de um único disco parabólico e o segundo contendo 2 espelhos parabólicos. Com a educação e capacitação em energia solar para a construção de fogões solares abordada em sala, busca-se integrar o aluno com conceitos de energia renovável em projetos práticos desde o início do curso, o que aumenta o interesse do aluno pelo curso, reduzindo a evasão escolar. Baseado na aprendizagem ativa trabalhada em sala de aula, foram propostos, desenvolvidos e testados 2 modelos de fogão solar cujos resultados foram comparados neste artigo. Os modelos de fogão solar foram desenvolvidos pelos alunos sob a orientação do professor ao longo do semestre letivo, levando-se em consideração: interdisciplinaridade, conceitos básicos de energia solar, mecânica e física, bem como os conceitos de aspecto comportamental como liderança para trabalho em equipe e gerenciamento de projetos. A metodologia adotada em sala para a construção desses protótipos de fogão solar são apresentadas na próxima seção do artigo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. FOGÃO TIPO CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO COM FOCO ÚNICO

A pesquisa partiu do estudo de soluções já adotadas em fogões solares com temperaturas mais elevadas como as encontradas no fogão solar do tipo concentrador parabólico de foco único (Fig. 1) e observar suas características.

Figura 1 – Fogão solar do concentrador parabólico de foco único



Fonte: (Souza, 2014)

Esta estrutura de cocção analisada na bibliografia apresentou temperaturas elevadas o suficiente para viabilizar a substituição do fogão a lenha com alto impacto ambiental por um fogão solar. Assim, este tipo de estrutura foi construída por alunos no projeto de aprendizagem ativa para verificação de tempos de cocção.

Após a identificação da estruturas a ser utilizada para o fogão solar com concentrador parabólico de foco único, a etapa seguinte foi a escolha de materiais e definição de materiais para a sua construção (Fig. 2).

Para a construção do fogão solar de concentrador parabólico de foco único, foram utilizados espelhos cortados em formato de quadrado com 3,5cm de lado. Para que sua aderência ficasse ideal, foi utilizada cola de silicone para a devida aderência dos espelhos ao disco parabólico. O disco parabólico utilizado foi retirado de uma antena parabólica comercializada em lojas de telecomunicações, tendo o tamanho de 70cm de diâmetro. Para a cobertura de toda a superfície da antena, que será o coletor do fogão solar, foram utilizados 234 espelhos. Para sustentação, foram utilizados 2 tubos de ferro galvanizado com 6m de comprimento e de diâmetros de 21mm e 42mm cada, tendo sido cortados em comprimento de 1m. Esses

tubos galvanizados formam a base do fogão, bem como são essenciais para a sustentação do coletor em formato parabólico e da barra onde foi acoplada uma corrente para disposição da panela de cozimento no foco do sistema heliotérmico. As dimensões do disco parabólico utilizado como coletor do fogão solar foram escolhidas visando dar uma maior praticidade de deslocamento do fogão, sem comprometer o processo de cocção.

Figura 2 – Fotos do processo de montagem e colagem dos espelhos em uma antena parabólica e montagem da estrutura de suporte do fogão concentrador de foco único.



Fonte: o autor

A estrutura completa construída do fogão solar de foco único passou então por testes de cocção (Fig. 3).

Figura 3 – Fogão solar de espelho parabólico com foco único construído.



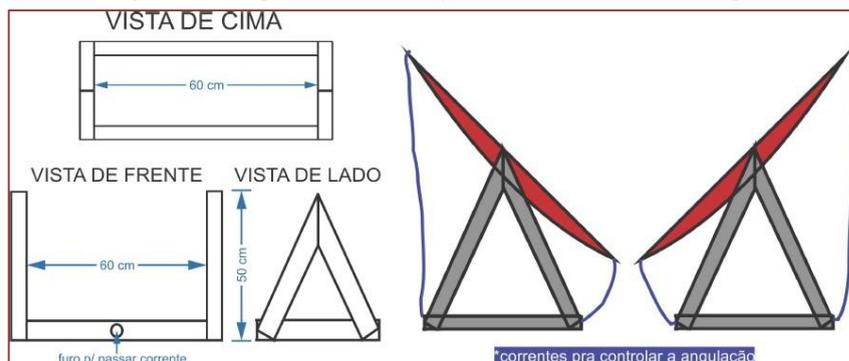
Fonte: o autor.

2.2. FOGÃO TIPO CONCENTRADOR SOLAR COM DUPLO ESPELHO PARABÓLICO

Outro grupo de alunos, desenvolveu o fogão solar baseado na utilização de materiais recicláveis. Este grupo

buscou construir um fogão com eficiência na cocção, mas com custo mínimo. A estrutura proposta também busca inovar com a utilização de 2 coletores de formato parabólico com 60cm de diâmetro cada, de forma que ambos os focos apontem para a panela do nosso fogão. Após a definição da estrutura proposta para o fogão solar, foram realizadas as buscas por materiais de baixo custo, preferencialmente reutilizados e recicláveis para a construção do fogão. Foram utilizados 6 metros lineares de madeira de pinho a um custo total de R\$22,00. A etapa seguinte foi esboçar o protótipo (Fig. 4).

Figura 4 – Esquemático do fogão solar com 2 coletores parabólicos.



Fonte: o autor

Foram então adquiridos espelhos de diferentes cortes, tamanhos e formatos em uma vidraçaria. Como tratavam-se de refugo de outros cortes, tiveram um custo de R\$15,00 para a cobertura de antenas adquiridas também em uma loja de eletrônica ao custo unitário de R\$25,00. Os demais itens utilizados na construção do fogão solar foram: abraçadeira, cola de silicone, parafusos, estopa, thinner e parafusos. O custo total dispendido neste projeto foi de R\$130,00 e as etapas de construção iniciaram-se com a construção da estrutura de madeira para suporte dos espelhos, barras de ferro para conectar os dois coletores solares e em seguida os espelhos foram colados na antena coletora e esta foi afixada na base do fogão (Fig. 5).

Figura 5 – Processo construtivo do fogão solar de duplo espelho parabólico.



Fonte: o Autor.

Após construídos os 2 fogões de concentração solar com concepções ópticas e estrutura distintas, a etapa seguinte do processo de aprendizagem ativa foi a de realização de testes, de forma que foram realizados testes de temperatura em diversos momentos do dia, bem como testes de cocção de diferentes tipos de alimentos. Os testes dos dois fogões encontram-se descritos na seção seguinte.

3. RESULTADOS

Concluídas as construções dos dois modelos de fogão propostos: o de concentrador parabólico de foco único e o de duplo espelho parabólico, os testes se iniciaram com o uso de painéis comuns como as que serão encontradas em comunidades carentes, onde os fogões virão a ser utilizados. Assim, foram realizados, com ambos os fogões, testes de medição do tempo de cocção e de temperatura da panela e da água, nas dependências da UFRPE campus Cabo de Santo Agostinho-PE. O campus da universidade fica localizado na mata sul do da região metropolitana de Recife, cuja latitude é $8^{\circ} 17' 15''$ e longitude $35^{\circ} 2' 7''$ Oeste. A radiação média mensal na região do Cabo de Santo Agostinho é de $5,25 \text{ KWh/m}^2\cdot\text{dia}$ (Tab. 1), o que é bastante superior às médias de radiação de outros locais do Brasil, como por exemplo as médias de Porto Alegre, São Paulo e Rio de Janeiro que valem respectivamente $4,43$, $4,45$ e $4,73 \text{ KWh/m}^2\cdot\text{dia}$ (Cresesb, 2018). Os testes de cocção em ambos os fogões foram realizados no mês de novembro de 2019 entre 10h e 14h hora local.

Durante os testes do fogão solar, foram analisados e comparados pelos alunos os valores de radiação em diversas regiões do Brasil e do mundo, o que propiciou a eles o entendimento do potencial energético do Brasil e mais especificamente da região Nordeste, pródiga em radiação solar. Assim, os alunos puderam compreender a importância da energia solar para redução de desigualdades sociais em soluções que melhorar o dia a dia de população carente do sertão do estado de Pernambuco.

Tabela 1 – Radiação média mensal no Cabo de Santo Agostinho

Mês	Radiação média mensal (KWh/m ² .dia)
Janeiro	5,69
Fevereiro	5,81
Março	5,81
Abril	5,10
Mai	4,38
Junho	4,09
Julho	4,17
Agosto	4,85
Setembro	5,42
Outubro	5,73
Novembro	5,97
Dezembro	6,02
média	5,25

Fonte: Cresesb, 2018.

O processo de obtenção de resultados deu-se de forma simultânea com os 2 fogões, tendo como etapa inicial dos testes de temperatura e medição de tempo de cozimento de cada alimento que ocorreu em um dia nublado no mês de novembro de 2019 (Tab. 2).

Tabela 2 – Temperatura alcançada no interior da panela ao longo de períodos do dia

Horário de medição	Fogão Foco único -	Fogão duplo espelho -	Alimento
	Temperatura alcançada no interior da panela (°C)	Temperatura alcançada no interior da panela (°C)	
12h15	82,50	95,90	Frango
12h35	80,20	70,80	Frango
12h50	79,90	68,00	Frango
13h05	56,20	60,90	Carne de Sol
13h20	58,90	65,20	Carne de Sol
13h35	48,70	50,20	Carne de Sol

Fonte: o autor.

Como é possível observar, chegou-se a temperaturas bastante elevadas ao longo de todo o período em que os testes ocorreram, chegando a um pico de temperatura na faixa de 12h15. Lembrando-se que em função de a cidade do Cabo de Santo Agostinho-PE localizar-se à leste da referência de fuso horário que é Brasília, o meio dia solar dá-se por volta de 11h20min hora de Brasília (GMT-3).

A etapa seguinte foi realizar testes aferindo o tempo para a cocção de diferentes alimentos em ambos os fogões de forma simultânea em (Fig. 6). Foi medida a temperatura no fundo da panela em diversos

momentos chegou a 230°C, como pode ser observado por meio da Figura 6.

Figura 6 – Cocção e medição de temperatura dos fogões solares.



Fonte: o Autor.

Foram colocados no fogão solar alimentos como ovos, carne, frango, verdura durante o intervalo de 10h às 14h hora local (Tab. 3).

Tabela 3 – Tempo de cocção de diversos alimentos nos fogões com foco único e de duplo espelho

Item preparado	Quantidade	Tempo preparo - Fogão Foco único	Tempo preparo - Fogão duplo espelho
água para café	500ml	5min	8min
batata doce	250g	50min	60min
ovo	2 unidades	9min	13min
Queijo coalho	300g	12min	15min
carne de sol	100g	50min	60min
Frango	100g	45min	50min

Fonte: o autor.

4. CONCLUSÃO

O artigo apresentou o projeto de aprendizagem ativa de alunos do primeiro ano do curso de Engenharia Eletrônica em que a sala foi dividida em 2 grupos responsáveis por desenvolver projetos relacionados à sustentabilidade energética, considerando uso de materiais recicláveis. O projeto desenvolvido ao longo do semestre foi a construção e testes de um fogão solar em cada grupo. Para a construção do fogão solar, foram abordados em sala de aula conceitos de concentração solar térmica, fator de interceptação, radiação solar, intermitência da radiação solar aplicados na prática. Além desses conceitos fundamentais para o conhecimento das ciências e mais especificamente como aprendizado introdutório à engenharia de energia renovável, foi possível construir conhecimentos em gerenciamento de projetos com escopo, prazo, custo e tempo de execução, desenvolver habilidades de comunicação, liderança e capacidade de trabalho em equipe, tão necessários na formação do engenheiro.

Como resultados práticos, foi possível obter, como resultado do projeto interdisciplinar, a construção e testes de 2 fogões com características distintas: um fogão com fogo único e que utiliza apenas um espelho parabólico e outro com duplo refletor parabólico sendo construído apenas com material reciclável e tendo um custo de apenas R\$130,00.

Os resultados alcançados mostraram que é possível utilizar o fogão solar com material reciclável a um baixo custo por meio de 2 modelos distintos com resultados bastante razoáveis para cocção de alimentos como carne de sol, frango e ovo com tempos de preparo mínimo obtido de respectivamente 50, 45 e 9 minutos.

Ao final do projeto de aprendizagem ativa, foi possível consolidar conhecimentos em energia solar e sustentabilidade, bem como a importância de se propor soluções para o nordestino utilizar materiais não combustíveis em substituição à lenha e ao gás. Isso oportunizou o ensino da energia renovável de forma prática, produzindo um projeto que pode ser aplicado à extensão ao se implantar em uma comunidade carente do entorno da universidade.

Como oportunidades de melhoria do projeto, propõe-se desenvolver um rastreador solar controlável por servo-motor e dispositivo celular por meio de programação em arduino, tornando ainda mais prático o processo de cocção sem utilização de combustível, evitando assim, quando implantado em larga escala, a emissão de milhares de toneladas de CO² na atmosfera.

REFERÊNCIAS

- [1] Bergmann, J. & Sams, A., 2016. Sala de aula invertida – uma metodologia de aprendizagem ativa, LTC 167p.

- [2] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito -CRESESB, Taxa de irradiação mensal no município do Cabo de Santo Agostinho, 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 30 de outubro 2019.
- [3] EPE, 2018. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017, Rio de Janeiro: EPE, 2018, 294p., 2018.
- [4] Freitas, B. A., Costa, E. C. A. C., Costa, C. P., 2016. Fatores da evasão discente no curso de engenharia civil da Universidade Estadual da Paraíba. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2016.
- [5] Gomes, E. T. A., 2019. Modelo e desempenho de concentrador solar aplanático com absorvedor cilíndrico – aplicação em sistemas solares térmicos, Tese de doutorado no Programa de Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco (2019).
- [6] Lion, C. A. P. Q. F., 2013. Desenvolvimento de compósito a partir da piaçava para construção de uma parábola defogão solar. Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.
- [7] Lion, C. A. P. Q. F., 2007. Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto. 92p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- [8] Queiroz, W. F., 2005. Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto. 87p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.
- [9] Rabl, A., 1985. Active Solar Collectors and Their Applications, 2ª Edição, pp. 125-155. Oxford University Press. New York.
- [10] Souza, R. F., 2014. Viabilidade de uso de um fogão solar para cocção de alimentos com parábola refletora fabricada em compósito que utiliza fibras de carnaúba e resina ortoftálica, 78p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

Capítulo 16

Avaliação numérica da viabilidade de utilização de uma Chaminé Solar para dessalinização

*Paulo Fonsêca Marinho Júnior
Janaína de Oliveira Castro Silva
Cristiana Brasil Maia*

Resumo: Nas últimas décadas a demanda energética tem apresentado um crescimento acelerado, com isso, as preocupações ambientais estão cada vez maiores, incentivando a busca por fontes renováveis de energia. Em adição a esta busca, a grande diversidade da aplicabilidade do uso da água, tanto para consumo humano como para recurso técnico das atividades antropogênicas, somado às diferentes características e funções da mesma, têm tornado a necessidade da utilização dos recursos hídricos muito complexa. Desta forma, tecnologias que promovam a preservação destes dois recursos vêm ganhando destaque mundial. Chaminés solares são dispositivos que utilizam energia solar para gerar um fluxo de ar quente, combinando as tecnologias de coletores solares, chaminés e turbinas. O fluxo de ar gerado pode ser aproveitado para acionar turbinas eólicas gerando energia que pode ser convertida em trabalho para aplicação na dessalinização da água. Centrado primordialmente em dois tipos distintos de funcionamento; a osmose inversa e a dessalinização térmica. O processo de dessalinização basicamente consiste na remoção dos sais da água, tornando-a potável para o consumo. Este artigo realiza uma avaliação numérica a partir da utilização do ANSYS-CFX para o valor de temperatura do coletor de uma chaminé solar de pequeno porte, para a obtenção da análise da viabilidade da aplicação deste dispositivo na dessalinização de águas de minério.

Palavras-chave: Chaminé Solar; Dessalinização; Avaliação Numérica.

1. INTRODUÇÃO

A expansão populacional do mundo somada ao crescimento evolutivo dos padrões de vida do ser humano tem aumentado as proporções de necessidade em escala mundial tanto da demanda de água potável, quanto da necessidade de energia limpa. Porém, a própria evolução humana em si, agindo em contrapartida ao meio, por vezes resulta suas inúmeras atividades antropocêntricas na contaminação das águas, do ar e do ambiente como um todo. Com isso, a busca por novas tecnologias que ajam diretamente de forma parceira ao meio ambiente, tem crescido constantemente nas últimas décadas.

Para a resolução da questão energética, dispositivos denominados de chaminés solares são uma tecnologia promissora pois, absorvem a radiação solar direta e difusa para geração de um escoamento de ar quente que pode então ser aproveitado por uma turbina e a partir desta gerar energia elétrica de forma natural, limpa e renovável.

Para a questão da recuperação das fontes de água comprometidas a partir do desenvolvimento humano, uma das frentes mais promissoras propostas dos últimos anos é a indústria de dessalinização. De acordo com Hohmeyer e Bohm, (2015), os sistemas de dessalinização mais comuns não dependem de combustíveis fósseis, portanto, são capazes de reduzir a pegada de carbono. Sendo assim, essas tecnologias de energia limpa são consideradas alternativas mais sustentáveis e de curto prazo para a solução tanto da questão energética quanto na questão da água.

1.1. A ÁGUA E O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

A água, além de apresentar-se como a substância mais comum no mundo, é considerada também um dos produtos mais nobres do planeta. Durante muito tempo a água não foi considerada como um bem econômico, hoje, em contrapartida, a escassez de água de boa qualidade disponível no mundo fez com que esse produto assumisse uma nova condição.

Uma das preocupações mais frequentes da população mundial está relacionada a questão da água potável. Estima-se que apesar de 70% do planeta Terra ser coberto por água, apenas 3% dela é doce, sendo que, deste percentual 2% estão dispostas em forma de gelo, ou seja, apenas 1% está disponível para o consumo (Mallevalle et al. 1996).

Dados divulgados pelo Governo Federal Brasileiro em 2017 comprovam que o Brasil é um país privilegiado pois, em sua extensão territorial este possui 12% das reservas de água doce disponíveis no mundo, sendo que a Bacia Amazônica concentra 70% desse volume. O restante deste valor é distribuído desigualmente para atender a toda população brasileira. O Nordeste, devido a má distribuição e às irregularidades das chuvas possui menos de 5% das reservas e grande parte da água é subterrânea, com teor de sal acima do limite aceitável para o consumo humano.

Dentre os desafios do setor relativo a água, pode se destacar: o crescimento acelerado da população, exaustão das fontes de água tradicionais, escassez da água originárias das mudanças climáticas e o gerenciamento ineficiente dos recursos hídricos disponíveis (ANA, 2006). Resultante disto, de acordo com um relatório recente das Nações Unidas, quase metade da população mundial, cerca de 3,6 bilhões de pessoas – atualmente vive em áreas vulneráveis de escassez de água e quase 2 bilhões de pessoas podem sofrer escassez de água até 2025.

Mancuso e Dos Santos, (2012), dizem que, se considerar que 65% de toda água consumida é utilizada pela agricultura, 25% pela indústria e que os restantes 10% são encaminhados para diversos fins urbanos, dessa forma, obtendo uma redução de 10% na fração destinada à irrigação, liberaria água suficiente para duplicar o consumo doméstico em âmbito mundial.

Porém, da mesma forma como é imprescindível para os seres vivos, a água também é vital para o desenvolvimento humano. As atividades antropogênicas tais como a indústria e a mineração, geram efluentes que podem alterar a qualidade das águas (Jonnalagadda e Mhere, 2001), em contrapartida são de extrema necessidade para o desenvolvimento socioeconômico.

Dados divulgados pela ANA, (2006), destacam que a atividade minerária é provavelmente, dentre as principais usuárias de água no Brasil, pois o sucesso de uma operação em mineração depende, em grande parte, da resolução adequada de suas interações com a água. Necessariamente, o empreendimento minerário destaca-se, dentre todos os outros setores usuários de água. O grande volume da sua significativa interação com os recursos hídricos superficiais e subterrâneos cria a necessidade de um olhar cuidadoso para com esta interação, considerando as características intrínsecas à atividade minerária, como a rigidez locacional e o caráter ainda insubstituível da grande

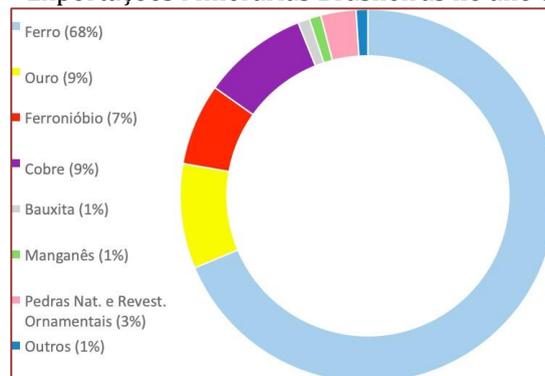
maioria dos bens minerais para a manutenção da qualidade de vida da população, vis-à-vis à consideração de que a água é elemento indispensável à vida.

Em contrapartida, de acordo com o IBRAM (2019), a indústria extrativa mineral também tem participação fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) e representa 1,4% de todo o PIB do Brasil, empregando cerca de 195 mil trabalhadores diretamente. Dessa forma, esta indústria é também um importante fomentadora da indústria nacional pois é o segmento fornecedor de matéria-prima para todos os tipos de indústrias existentes no país.

Ainda segundo o IBRAM (2019), o Produto Interno Bruto é formado predominantemente pelo setor de serviços, com 71,2% de seu total, seguido pelo setor industrial com 23,8% e por fim, pelo setor agropecuário com 5%. A indústria extrativa representa 3,7% de todo PIB brasileiro, sendo que a pauta dos bens minerais exportados pelo Brasil no ano de 2018 atingiu um volume de 409 milhões de toneladas e representou, em dólares, US\$ FOB 29,9 bilhões.

Dentre esses, os principais produtos exportados foram: minério de ferro, ouro, nióbio, cobre, bauxita, manganês, pedras naturais e de revestimentos, caulim entre outros; o valor referente a cada uma dessas exportações divulgado pelo IBRAM (2019) é disposto na Figura 1:

Figura 1 – Exportações Minerárias Brasileiras no ano de 2018:



Em contrapartida a todo desenvolvimento, de acordo com a ANA, (2006), a atividade da mineração provoca, como várias outras atividades econômicas, problemas ambientais. De um modo geral, esta atividade destaca os problemas com os recursos hídricos, em particular, principalmente no que se refere à poluição das águas e à degradação de áreas sob exploração mineral. Isso se explica pelo fato que, as atividades minerárias e de processamento mineral envolvem um grande número de etapas às quais estão associadas inúmeras possibilidades de contaminação da água e do meio ambiente como um todo. Esses riscos ambientais devem ser avaliados durante o desenvolvimento do fluxograma de operação da usina, que deve prever as formas de gerenciamento e tratamento dos efluentes produzidos.

Assim como dito por Oliveira, 2001, um dos principais problemas encontrados pela indústria de mineração é a necessidade cada vez mais elevada da utilização de fontes de águas primárias tornando-as impuras e com altos níveis de salinidade (incluindo sais de cálcio, magnésio e ferro como precipitados em potencial). De acordo com a Organização Mundial de Saúde, a permissividade de sal na água para consumo é de 550ppm, a água do mar normalmente tem um valor variável entre 3500 e 4500 ppm (Eltawil et al., 2009). Para o caso de águas de minério o valor proveniente de sal é inferior a este número, porém, outros agentes dispostos nas pilhas de minério e de estéril, das barragens de decantação de finos e de rejeitos, assim como dos efluentes líquidos da mina ou das usinas de beneficiamento do minério tornaram essa água imprópria para consumo. Uma iniciativa para minimizar essa situação de transformar essa água imprópria para o consumo em água potável é a instalação de equipamentos de dessalinização.

O processo de dessalinização surgiu há muitos anos com o objetivo de remover os sais da água, tornando-a potável para o consumo. Diversos métodos de dessalinização vêm sendo estudados dentre estes destacam-se a osmose inversa e a dessalinização térmica.

Define-se como osmose inversa o processo conduzido por eletricidade ou energia mecânica sob o qual a água a ser dessalinizada é colocada sob alta pressão, passando então por membranas poliméricas,

dotadas de minúsculos orifícios, que retêm os sais presentes no líquido. Já o processo de dessalinização térmica, processo o qual acionado pelo calor, envolve processos de destilação nos quais consiste na forma em que a água salgada é aquecida e evapora, acumulando-se na parte interna do tanque. Em um outro compartimento, o vapor é resfriado, condensa-se e transforma-se novamente em água limpa.

Dados provenientes de uma pesquisa elaborada pela revista virtual FAPESP em maio de 2019, demonstram que atualmente 15,9 mil plantas de dessalinização encontram-se em operação no planeta, com capacidade para purificar cerca de 95 milhões de m³ de água por dia. Essas usinas estão localizadas principalmente no Oriente Médio, norte da África, EUA, China e Austrália.

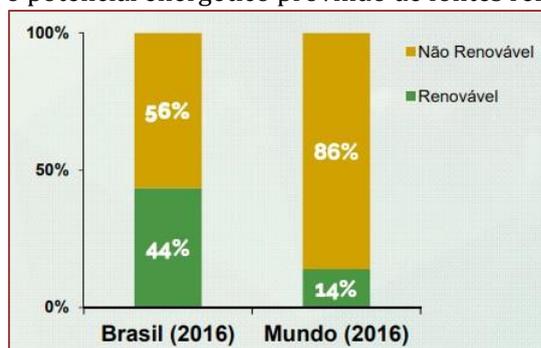
Por outro lado, apesar de todos os pontos positivos originários desse processo, de acordo com Al-Kararaghoul e Kasmerski, 2013, todos os processos de dessalinização tem um impacto negativo no ambiente por consumir muita energia, desta forma para a resolução deste problema o uso de energia renovável superaria todos estes inconvenientes.

1.2. CHAMINÉS SOLARES DE PEQUENO PORTE

Estimativas da ONU (2019) determinam que a população mundial tem aproximadamente 7 bilhões de pessoas. Dados disponibilizados pela United Nations (2004) projetam que, para o ano de 2050, este número se eleve para cerca de 9 bilhões. Uma vez alcançado este valor a demanda energética pode chegar a se duplicar. Em decorrência disto, por possuir uma grande dependência de fontes não renováveis tais como carvão, petróleo e gás natural a preocupação relacionada à captação de energia para com o meio ambiente passa a ser também uma questão mundial (EPE, 2019).

Ainda de acordo com dados divulgados pela EPE, (2019), em contrapartida a majoritária produção energética mundial, o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Em 2016 o Brasil obteve uma produção energética com base renovável percentual de 44% de sua produção total, enquanto a produção referente ao restante do mundo obteve o valor de 14% de toda produção. O Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. A comparação entre o potencial energético provindo de fontes renováveis brasileiro para com o restante do mundo no ano de 2016 pode ser observada na Imagem 2 (EPE, 2018):

Figura 2 – Comparação entre o potencial energético provindo de fontes renováveis Brasil x Mundo:



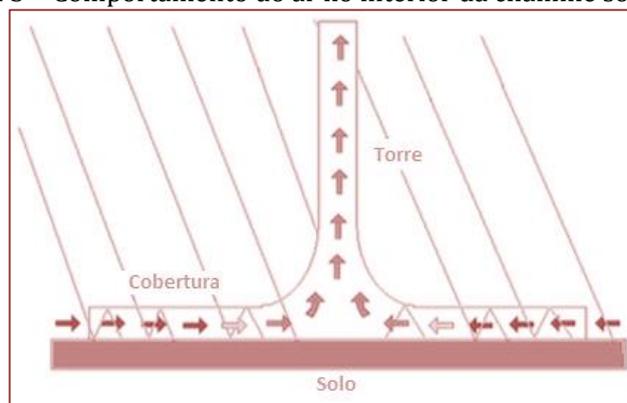
Para o ano de 2018, somando lenha, carvão vegetal, energia hidráulica, derivados de cana e outras energias renováveis o potencial desta obteve um percentual de 42,9% da produção energética brasileira, sendo este quase metade de sua matriz. (EPE, 2019). De acordo com o Ministério de Minas e Energia brasileiro a projeção é que para o ano de 2027 a parcela renovável da oferta de energia brasileira totalize 48% de sua matriz.

Energias renováveis consistem nos tipos energéticos provindos dos recursos naturais que são naturalmente reabastecidos; tendo como principais fontes a bioenergia (provindos de fontes biológicas) e as energias geotérmica, hídrica, oceânica, solar e eólica. É importante salientar que nem toda fonte natural é renovável; o urânio por exemplo é uma fonte natural, mas não renovável pois existe em uma capacidade limitada no meio ambiente. Assim como o termo renovável refere-se apenas a uma escala humana de tempo (cerca de bilhões de anos) e não à eternidade (MARINHO JUNIOR et al, 2018). Dentre as energias renováveis disponíveis, a energia solar é abundante, permanente, renovável, não poluente e não prejudicial ao ecossistema. Em dados numéricos, a radiação solar anual que atinge

o planeta Terra é equivalente a 7500 vezes do consumo mundial de energia total primária (Thirugnanasambandam, Inyan e Goic, 2010).

Um dispositivo que baseia seu funcionamento primordialmente em energia solar é a chaminé solar, seu funcionamento envolve primordialmente a combinação e comunicação de três dispositivos distintos, sendo estes: coletores solares, torres e turbinas. De maneira resumida, o funcionamento deste dispositivo se comporta da seguinte forma: no período diurno, parte da radiação solar incidente durante o dia atravessa a cobertura transparente da chaminé, promovendo assim o aquecimento natural do solo. Uma vez aquecido, o solo por convecção natural transfere calor para massa de ar disponível no interior do coletor. A massa de ar então escoar ascendentemente em direção a torre devido as forças de empuxo provenientes dos gradientes de temperatura no interior do dispositivo. Ao encontrar a torre o ar aquecido é então succionado para o exterior do dispositivo (Castro Silva, 2018). No período noturno, quando a incidência solar é cessada, o solo ao inferior da chaminé, solo este que durante o dia armazenou parte da incidência solar passa a funcionar como efeito estufa, liberando então o calor armazenado e gerando um fluxo quase que contínuo de funcionamento, porém, em menores proporções. A imagem 3 refere ao comportamento do ar no interior de uma chaminé solar (Maia et al, 2019 - adaptado):

Imagem 3 – Comportamento do ar no interior da chaminé solar:



Ainda em 1903, Cabaynes definiu o conceito de chaminé solar. Porém, somente sessenta e cinco anos depois em 1968 que o alemão Jörg Schlaich descreveu novamente os ideais de Cabaynes tornando tal conceito passível a uso. Dessa forma, em 1981 o governo alemão em parceria com a União Fenosa promoveu e financiou a execução do primeiro protótipo de chaminé solar (BERNARDES E OUTROS, 2003).

Sendo assim, o primeiro protótipo experimental feito no mundo, foi construído em Manzanares na Espanha, no ano de 1981. De acordo com Schlaich, (2002), a chaminé possuía uma altura da torre equivalente a 194,6m, um diâmetro de 5,08m e 0,00125m de espessura da parede metálica. Em relação ao coletor os dados equivalentes são de 122m de raio com uma cobertura de vidro e estrutura de teto feita em PVC. O sistema de turbinas da chaminé era feito com rotor único equipado com quatro lâminas de 5m na base da chaminé (Kasaeian et al, 2016). Este protótipo operou durante o período de anos entre 1982 até 1989, com uma potência máxima de funcionamento no valor de 50kW. A eletricidade gerada pelo mesmo foi integrada à rede elétrica local.

Dentre as possibilidades de se trabalhar com o fluxo de ar quente gerado por este dispositivo, a principal utilidade do mesmo se dá para alimentação de turbinas eólicas (Fathi et al., 2016; Kasaeian et al., 2017; Schlaich, 2002) para disposição então de energia elétrica, porém, grandes áreas são necessárias para gerar esta energia a preços competitivos (Maia et al. 2009).

Em adição deste, assim como descrito por Zhou et al, 2015, é necessário um enorme investimento para a construção de uma planta comercial pois exige enormes quantidades de material. Somado a esta limitação outros empecilhos também podem ser descritos para uma planta de grande porte, devido às restrições tecnológicas da utilização do concreto armado, as proporções para o tamanho necessário da altura da torre é limitada. Preocupações ambientais também são destacadas uma vez que além de alterar a geometria local traz consequências também para espécies de plantas e animais, como os pássaros por exemplo (Herrman, 2016).

Desta forma, como a análise experimental deste trabalho, foi criado um viés centrado no estudo de chaminés solares de pequeno porte, e como estas mesmas se comportariam para a finalidade de dessalinização de águas de minério. Vários estudos têm sido realizados sobre chaminés solares de pequeno porte. Maia e outros (2009), utilizando técnicas de volumes finitos realizaram uma análise numérica do escoamento em comportamento transiente de uma chaminé solar de pequeno porte. As equações de quantidade de movimento linear, da energia, da conservação de massa e as equações de transporte para grandezas turbulentas governaram a solução do problema. Os resultados obtidos foram comparados dados experimentais também feitos pelos autores. A análise numérica demonstrou que a altura e o diâmetro da torre foram os parâmetros mais importantes.

Castro Silva, 2018, utilizando análise numérica e experimental determinou a influência dos parâmetros geométricos no desempenho de uma chaminé solar de pequeno porte. A análise numérica de seu estudo determinou que o diâmetro do coletor e o diâmetro da torre são os parâmetros que mais influenciam na taxa de transferência de calor. Em complemento deste, para a análise experimental do mesmo, conclui-se que os parâmetros mais influentes sobre a vazão mássica foram o diâmetro e a altura da torre, foi também determinado que, para a saída do escoamento o fator mais influente é o diâmetro do coletor.

Diversos estudos com protótipos de pequeno porte foram analisados experimental e numericamente em diversos países do mundo, dentre estes destacam-se os estudos de Maia et al. (2009), Akbarzadeh et al. (2009), Kasaeian et al. (2011), Mohammad e Obada (2012), Najmi et al. (2012), Al-Dabbas (2012), Kalash et al. (2012), Motsamai et al. (2013), Ghalamchi et al. (2015) e Castro Silva (2018). Para a aplicabilidade deste dispositivo em pequenas dimensões, como vantagens destacam-se o aproveitamento das componentes diretas e difusas provenientes da radiação solar; os materiais de construção ampla e facilmente disponíveis; seu baixo custo de manutenção comparado a outras tecnologias; simplicidade de operação; capacidade de funcionamento contínuo e tecnologia simples (Castro Silva, 2018).

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para esta questão avaliadas, as equações governantes do problema são dadas pelas equações de conservação de massa, de conservação de momento e de conservação de energia, respectivamente descrito nas Equações (1), (2) e (3). Estas equações são avaliadas a partir de Versteeg e Malalasekera, 2007:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla (\rho \cdot \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot \vec{v}) + \nabla (\rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \left(\mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \mathbf{I} \right] \right) + \rho \vec{g} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{\text{eff}} \nabla T - h \vec{J} \right) + \left(\mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \mathbf{I} \right] \cdot \vec{v} \right) \quad (3)$$

Por se tratar de uma grande complexidade originária dos escoamentos turbulentos, para este problema não se é possível uma abordagem estritamente analítica, sendo assim, se torna necessária a modelagem do problema proposto. No presente trabalho optou-se por modelar a turbulência através do modelo k-ε que utiliza o conceito de viscosidade turbulenta, que pode ser calculado através da Equação (4). A escolha do modelo k-ε no presente trabalho se dá a partir da pesquisa bibliográfica sobre chaminés solares, uma vez que, tomando como referência este modelo de turbulência se apresentam os melhores resultados para análises CFD em chaminés solares, sendo este então, conseqüentemente, o modelo mais utilizado na literatura.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

Tendo que, os termos C_μ representa uma constante empírica, k representa a energia cinética turbulenta e ε a dissipação da energia cinética turbulenta.

Ainda de acordo com Versteeg e Malalasekera (2007), este modelo de turbulência permite que os efeitos de transporte das suas propriedades sejam avaliados através da solução de equações de transporte para a energia cinética turbulenta, k , e para a dissipação da energia cinética turbulenta, ε . As equações de transporte que permitem a caracterização de k e ε serão dadas respectivamente pelas Equações (5) e (6):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (6)$$

Tendo que, o termo G_k representa a produção de energia cinética turbulenta resultante da média dos gradientes, G_b a produção de energia cinética turbulenta devido às flutuações, Y_M a contribuição da dilatação flutuante na turbulência compressível para a taxa de dissipação. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ e $C_{3\varepsilon}$ são constantes. S_k e S_ε são termos definidos pelo usuário. As constantes que governam este problema assumem os seguintes valores:

$$C_\mu = 0,09 \quad \sigma_k = 1,00 \quad \sigma_\varepsilon = 1,30 \quad C_{1\varepsilon} = 1,44 \quad C_{2\varepsilon} = 1,92$$

Cengel e Ghajar (2011) pontuam que, sólido semi-infinito é definido como um corpo ideal que tenha uma superfície em um único plano e estende-se até ao infinito em todas as direções. Sendo assim, desta forma o solo pode ser considerado como um meio semi-infinito para determinar a variação de temperatura próxima a sua superfície. Por curtos períodos de tempo, a maioria dos corpos pode ser modelado como um sólido semi-infinito, uma vez que, o calor não tem tempo suficiente para penetrar profundamente no corpo. A solução analítica para o caso da temperatura constante em uma superfície, pode ser calculado a partir da Equação (7).

$$\frac{T(x)-T_s}{T_i-T_s} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\eta e^{-u^2} du \quad (7)$$

Onde os termos $T(x)$, refere a temperatura na profundidade, T_s a temperatura na superfície e T_i a temperatura na superfície inicial. O termo η pode ser calculado a partir da Equação (8), onde os termos x representa a profundidade do solo, α a absorvidade do solo e t o tempo.

$$\eta = \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} \quad (8)$$

3. METODOLOGIA

Dentre os dois principais métodos de dessalinização, o processo de osmose inversa foi usado anteriormente em comunhão com painéis solares por Souza Filho e Laborde, (2006), a fim de se obter a partir da geração de energia térmica a alimentação de um motor, porém, assim como dito por Castro Silva, (2015), chaminés solares de pequeno porte não geram fluxo em um volume suficiente para a alimentação de motores. Desta forma, se torna inviável a aplicabilidade deste dispositivo em comunhão do método de dessalinização por osmose inversa. Em consequência disto, para a resolução deste problema foi avaliado a viabilidade do processo de dessalinização térmica.

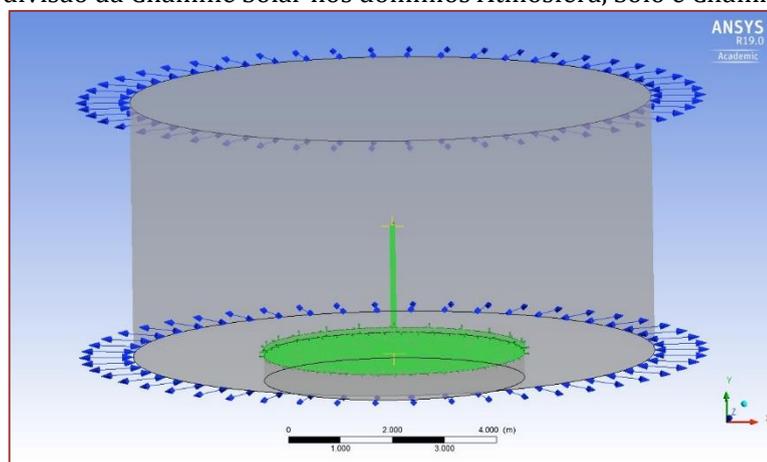
Em termos técnicos, Libânio, (2010), descrevem que, a evaporação se sucede quando as moléculas de água escapam através da superfície líquida. Em um ambiente fechado, o equilíbrio é atingido quando o número de moléculas que deixam a superfície e então igualando este ao número de moléculas de vapor que se condensam ao atingir a superfície livre. Dessa forma, a pressão de vapor se entende como a pressão exercida no espaço pelas moléculas de vapor. A magnitude desta pressão é governada pela pressão reinante e pela temperatura, de forma que, quando a pressão acima da superfície líquida se iguala à pressão de vapor o líquido entra em ebulição, mesmo a temperatura ambiente. Desta forma, para conseguir obter a ebulição da água em temperatura ambiente é necessário que a mesma atinja aproximadamente 100°C. Sendo assim, esta temperatura de 100°C é a temperatura que deve ser obtida na região do centro do coletor da chaminé solar quando a finalidade desta está condicionada a dessalinização térmica.

Devido a essa proposta de obtenção de temperatura, inicialmente, a resolução do problema tomou como princípio a pesquisa da temperatura abaixo da superfície do coletor de uma chaminé solar de pequeno porte, uma vez que, o sistema de dessalinização da água dependeria diretamente do valor de obtenção de temperatura nas regiões dadas mais quentes da chaminé, para assim se determinar os valores de temperatura dispostos na mesma e com isso a necessidade ou não do uso de uma fonte auxiliar de calor necessária para se obter o ponto de evaporação da água.

Desta forma, para a realização da análise em CFD foi usado o software ANSYS-CFX 19. Na resolução do problema, a geometria padrão utilizada obtinha as dimensões de: uma torre com 2,5 m de altura e 0,2 m de diâmetro, coletor com 5 m de diâmetro e altura em relação ao solo de 0,1 m, além disto, foram considerados as seguintes condições: escoamento em regime transiente, o fluido como um gás ideal e o modelo de turbulência k- ϵ .

Por se tratar de um problema complexo, o desenho da chaminé solar foi dividido em três partes, seguindo o modelo de resolução feita por Castro Silva, 2018, onde o domínio da chaminé solar era subdividido em atmosfera, a chaminé solar propriamente dita e o solo. As seguintes divisões podem ser observadas na Figura 4 (elaborada pelos autores):

Figura 4 – Subdivisão da Chaminé Solar nos domínios Atmosfera, Solo e Chaminé Solar:



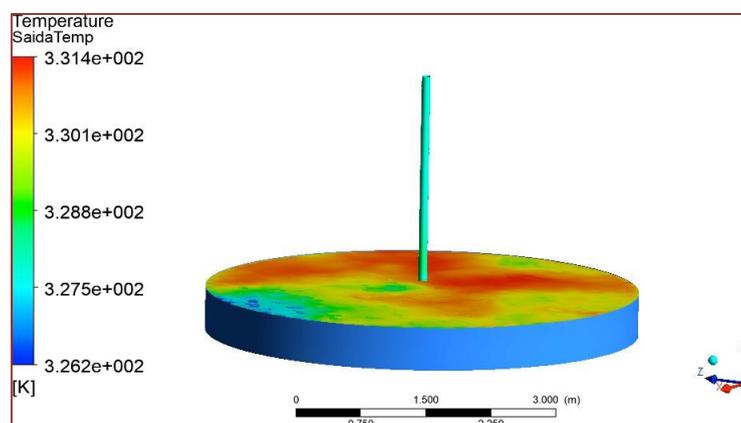
Os parâmetros de entrada de resolução do problema foram: Para a atmosfera e chaminé: morfologia considerada um fluido contínuo, componente gravitacional no plano Y de $9,81\text{m/s}^2$, pressão atmosférica de 91500Pa e Temperatura Ambiente equivalente a $298,3\text{K}$ ($25,15^\circ\text{C}$). Para o solo: 565W/m^2 de calor absorvido e regime estacionário, definido a partir da literatura de Castro Silva (2018) para a cidade de Belo Horizonte.

A simulação foi feita a partir de um computador *Dell*, com processador *Intel Xeon de 3.80GHz* e uma memória interna de *32GB*, somando um tempo de aproximadamente 2 horas. Esta foi feita a partir de uma malha com 551.796 elementos para o domínio da atmosfera, 6.907 elementos para o domínio do solo e 125.373 elementos para a chaminé, executados em regime permanente e, em um segundo momento, para resolução do problema feita novamente toda esta em regime transiente e os resultados referentes a mesma são discutidos no próximo tópico.

4. RESULTADOS

A partir da simulação feita pelo ANSYS-CFX, os valores obtidos para a temperatura na chaminé solar de pequeno porte a partir da superfície abaixo do coletor solar são demonstrados na Figura 5 (elaborado pelos autores):

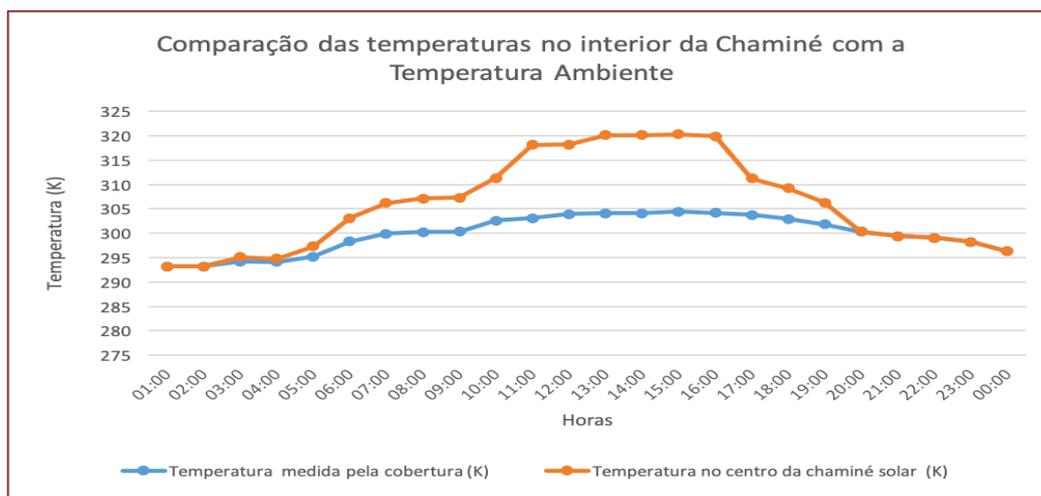
Figura 5 – Comportamento da Temperatura no interior da Chaminé Solar:



Estudos feitos a partir de castro Silva (2018) comprovaram a importância da influência dos ventos sobre o dispositivo, sobre o dispositivo e, na Figura 5 é possível observar que a distribuição de temperaturas não se dá de forma regular no interior do dispositivo. A partir da comparação entre a temperatura ambiente prescrita de $298,3\text{K}$ pode se observar que que, foi encontrada uma temperatura máxima de $331,40\text{K}$ quando em seu melhor desempenho, ou seja, no momento que a taxa de absorvidade de temperatura pelo solo proveniente de forma natural tem os valores mais elevados. Sendo assim, a chaminé solar de pequeno porte funciona corretamente como a espécie de um “forno natural”, elevando a temperatura a uma diferença de $33,10\text{K}$ para a temperatura ambiente, fator este que descreve o correto funcionamento do dispositivo.

Em uma análise geral, pode se observar que é nas regiões mais internas da chaminé solar onde são avaliados os valores mais altos da temperatura. Este fator é explicado através das resoluções dispostas em transferência de calor, uma vez que, um corpo (neste caso a massa de ar) tende a transferir calor da região mais quente para as regiões mais frias, ou seja, a transferência de calor no caso da chaminé solar se inicia pela ocorrência de fora para dentro. Depois de aquecido o corpo, as regiões mais internas deste tendem a estar mais quentes do que suas regiões mais externas, este comportamento pode ser avaliado a partir da imagem 4. O ar ambiente entra de modo natural pelas extremidades da chaminé, logo, o mesmo tende a estar em uma temperatura inferior quando comparada a encontrada no interior do dispositivo, sendo assim, este fator também faz com que as regiões mais externas obtenham valores de temperatura inferiores aos valores dispostos nas regiões mais centrais do dispositivo. De forma transiente, a avaliação da comparação entre as temperaturas no interior da chaminé solar e a temperatura do interior do dispositivo podem ser analisadas a partir da Figura 6 (elaborado pelos autores):

Figura 6 – Comparação das temperaturas no interior da Chaminé com a Temperatura Ambiente:



Para a análise foram avaliadas as temperaturas da cobertura e do interior da chaminé. Para a temperatura da cobertura, foi mensurada uma região mais central do dispositivo onde a mesma está diretamente relacionada ao valor da temperatura ambiente. No caso da temperatura no interior da chaminé, foi mensurada em uma região mais central do dispositivo, disposta a partir do solo do mesmo. Para o correto funcionamento do dispositivo; dispositivo este assim como estudado que se deve comportar como um forno natural, ou seja, elevar a temperatura no interior do mesmo; a chaminé solar de pequeno porte estudada obteve o seu correto funcionamento.

A partir de uma análise nos valores de temperatura encontrados e comparando os resultados com os dispostos pela literatura de Castro Silva (2018), para os horários relativos ao funcionamento completo de um dia para a chaminé solar, pode-se concluir que, durante o funcionamento das 6 da manhã até as 8 da noite a temperatura no interior do dispositivo passa a ter um aumento significativo, demonstrando seu correto funcionamento (tendo os valores de diferença de temperatura de 5 a 19 graus). Para os demais horários, horários este onde o sol já é cessado a diferença de temperatura obtêm valores de menores proporção, até que o mesmo configure a diferença em valor zero, o que também demonstra o correto funcionamento, uma vez que, o solo deste se comporta como uma espécie de armazenador de temperatura, uma vez cessada a transferência de calor exercida pelo sol, o solo dispõe de sua temperatura armazenada para a chaminé fazendo com que a mesma tenha um funcionamento contínuo, ainda que em menores proporções numéricas.

Em suma, para um funcionamento normal em um dia onde a temperatura ambiente média tem o valor de 25,15°C a máxima temperatura atingida pela chaminé solar de pequeno porte foi de 58,25°C em seu horário de melhor funcionamento, obteve-se que, sem a adição de uma fonte complementar de calor, fonte esta que pode ser advinda de uma resistência auxiliar ao sistema a dessalinização térmica da água, sob estas condições de funcionamento ficaria inviável a aplicação deste projeto pois, uma vez que, para o funcionamento correto da dessalinização térmica seria necessário alcançar valores de temperatura interna referentes a 100°C.

6. CONCLUSÕES

A partir da avaliação numérica de uma chaminé solar de pequeno porte para águas de minério disposta de forma simulada pelo ANSYS-CFX, para este presente trabalho conclui-se que: o processo de dessalinização térmica aplicado diretamente foi inviável, desta forma obtêm-se então as duas sugestões: se o objetivo ainda for trabalhar com um dispositivo natural, sem adição de outras fontes de calor, uma solução seria então trocar as proporções de tamanho do mesmo, variando este de uma chaminé solar de pequeno porte para uma chaminé solar de grande porte; em contrapartida, se o objetivo for trabalhar com uma chaminé solar de pequeno porte, fica então a necessidade de se usar uma fonte auxiliar de calor que opere em comunhão com a chaminé solar elevando e mantendo a temperatura da água sempre em ponto de ebulição, ou seja, próximo a 100°C.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do CNPq, da FAPEMIG, e da PUC Minas.

REFERÊNCIAS

- [1] AKBARZADEH A, JHONSON P, SINGH R. Examining potential benefits of combining a chimney with a salinity gradient solar pond for production of power in salt affected areas. *Sol Energy* 2009;83(8):1345–59.
- [2] AL-DABBAS MA. The first pilot demonstration: solar updraft tower power plant in Jordan. *Int J Sustain Energy* 2012;31(6):399–410.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. A gestão dos recursos hídricos e a mineração. Agência Nacional de Águas, Coordenação-Geral das Assessorias ; Instituto Brasileiro de Mineração ; organizadores, Antônio Félix Domingues, Patrícia Helena Gambogi Boson, Suzana Alípa. Brasília : ANA, 2006. 334 p.
- [4] BERNARDES M.A.S.; VOß A.; WEINREBE G. Thermal and Technical Analyses of Solar Chimneys. *Solar Energy*, v.75, p. 511-524, 2003.
- [5] CABANYES, I., Proyecto de Motor Solar. *La Energia Eléctrica: Revista General de Electricidad y sus Aplicaciones*, v. 8, p. 61-65, 1903.
- [6] CASTRO SILVA, J. Análise Experimental e Numérica de uma Chaminé Solar Modular. 2018. 128 f. TESE (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, 2018.
- [7] CASTRO SILVA, JANAÍNA DE OLIVEIRA ; FERNANDES, T. S. ; MARINHO JUNIOR, P.F. ; LEDO, L.F.R. ;
- [8] Hanriot, Sergio de Moraes ; MAIA, CRISTIANA BRASIL . Influência do regime de escoamento em uma chaminé solar de pequeno porte. In: CMN 2015 - Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia, 2015, Lisboa. Anais do CMN 2015, 2015.
- [9] CENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*, 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [10] ELTAWIL, M.A., ZHENGMING, Z., YUAN, L., A review of renewable energy Technologies integrated with desalination systems. *Renew. Sustain. Energy Review*. 13, 2245-2262. 2009
- [11] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- [12] FATHI, N., ALEYASIN, S.S., VOROBIEFF, P., 2016. Numerical-analytical assessment on Manzanares prototype. *Appl. Therm. Eng.* 102, 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.133>.
- [13] FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP. Para tirar o sal da água.
- [14] Engenharia Hídrica. *Revista Virtual*. P 64-68 - Maio 2019.
- [15] GHALAMCHI M, KASAEIAN A, Experimental study of geometrical and climate effects on the performance of a small solar chimney. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43:425–31.
- [16] GHALAMCHI M, KASAEIAN A, MIRZAHOSSEINI A H. An experimental study on the thermal performance of a solar chimney with different dimensional parameters. *Renewable Energy* 2016;91:477–83.
- [17] GOVERNO FEDERAL BRASILEIRO. Água e Consumo consciente. Disponível em: <<http://legado.brasil.gov.br/noticias/educacao-e-ciencia/2010/10/agua-e-consumo-consciente/#main-navigation>>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- [18] HERRMAN, Ulf. *Renewable Energy Technologies*. Course Master Engineer Systems – Winter Semester 15/16. 673 f. Notas de Aula. PDF.
- [19] HOMEYER, O. H., BOHM, S., 2015. Trends toward 100% renewable electricity supply in Germany and Europe: a paradigm shift in energy policies. *Wiley Interdiscip. Rev. Energy Environ.* 4, 74 – 97.
- [20] INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. IBRAM -Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/ibram/>>. Acesso em: 20 set. 2019.
- [21] JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe. *Water Research*, v. 35, n. 10, p. 2371 – 2376, 2001.
- [22] KALASH, S., NAIMEH, W., AJIB, S. Experimental investigation of a solar collector temperature field of a sloped solar updraft power plant prototype, In: 3rd International Conference on Solar Updraft Tower Power Technology, Wuhan, 2012, pp. 128-137.
- [23] KASEAIAN A.B., MOLANA, S.H. , RHAMANI, K. , WEN, D. - A review on solar chimney systems - *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, V.57, P. 954 – 987, 2016.
- [24] KASEAIAN A.B., HEIDARI E, VATAN SN. Experimental investigation of climatic effects on the efficiency of a solar chimney pilot power plant. *Renew Sust Energy Rev* 2011;15(9):5202–6.

- [25] LIBÂNIO, M. Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água – Editora Átomo. 3 Edição. Campinas, SP. 2010.
- [26] MAIA C. B., SILVA, F.V.M., OLIVEIRA, V.L.C., KAZMERSKI, L.L. 2019. An overview of the use solar chimneys for desalination. *Solar Energy*. V. 183, p. 83 – 95, 2019.
- [27] MAIA, C.B.; FERREIRA, A.G.; VALLE, R.M.; CORTEZ, M.F.B. Theoretical evaluation of the influence of geometric para meters and materials on the behavior of the airflow in a solar chimney, *Computers & Fluids*, v. 38, p. 625-636, 2009.
- [28] MALLEVIALLE, J. ODENDAAL, P. E.; WIESNER, M. R. Water Treatment Membrane Processes. American Water Works Associaciton Research Foundation; Lyonnaise des Eaux; Water Research Comossion of South Africa. McGraw-Hill. Washington, DC, USA, 1996.
- [29] MANCUSO, P. C. S., DOS SANTOS, H. F. Reúso da Água. Coleção Ambiental. Editora Manole. Baurueri, SP. 2003
- [30] MARINHO JUNIOR, P. F., MORAIS, B. L. F., BARBOSA, R. R. C., Análise Experimental da Secagem de Bananas em um Secador Solar Híbrido. 2018. 117 f. . Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, 2018.
- [31] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Apresentação para a comissão de serviços de Infraestrutura do Senado Federal. Ministrado por: Ministro Bento Albuquerque. Disponível em: <www.mmegov.br/>. Acesso em: 24 nov. 2019
- [32] MOTSAMAI O, BAFETANYE L, MASHABA K, KGASWANE O. Experimental investigation of solar chimney power plant. *J. Energy Power Eng* 2013;7:1980–4.
- [33] OLIVEIRA, A. P.; Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração. CETEM/MCT, 2001. 36p. (Série Tecnologia Ambiental)
- [34] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. População Mundial. Disponível em: <nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>. Acesso em: 24 nov. 2019.
- [35] SCHLAICH, J. 2002. The Solar Chimney: electricity from the Sun. Stuttgart.
- [36] SOUZA FILHO, J. S., LABORDE, H. M. Avaliação do Consumo Energético de um dessalinizador solar de pequeno porte. – Água subterrânea e dessalinização/ Theodoro Paulo Severino Peters. Et al. Organizadores Arminda Sconi Messias, Marcos Roberto Nunes da Costa. Recife: UNICAP, 2006.
- [37] THIRUGNANASAMBANDAM, M.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar termal Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 1, p. 312 – 322, 2010.
- [38] UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs/Population Division. World Population to 2300. New York, 2004.
- [39] VERSTEEG, H.K.; MALALASEKERA, W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method, 2.ed. Essex: Pearson Education Limited, 503p, 2007
- [40] ZHOU, X. XU, Y. YUAN, S. WU, C. ZHANG, H. Performance and pntial of solar updraft tower used as na effective measure to alleviate Chinese urban haze problem. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Capítulo 17

Sistema fotovoltaico de 10kWp conectado à rede com armazenamento de energia em Curitiba

Adriana Schilive de Souza

Juliana D'Angela Mariano

Jair Urbanetz Junior

Resumo: Os sistemas fotovoltaicos (FV) estão cada vez mais presentes nos centros urbanos, no entanto a maioria dos consumidores residenciais e comerciais apresenta seu pico de demanda à noite, quando não há geração fotovoltaica, necessitando da rede elétrica para atender à demanda dessas instalações. O pico de demanda leva ao aumento de custos para esses consumidores e acaba prejudicando a qualidade da energia da rede. Uma solução possível para esses problemas listados é aplicando sistemas de armazenamento. Este artigo descreve as etapas de construção de um sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia no Campus Neville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), que está sendo utilizado para estudar estratégias de gerenciamento de energia usando um banco de baterias. O sistema consiste em 32 unidades de módulos policristalinos de silício de 335Wp e 80 unidades de baterias estacionárias de 60Ah. Neste artigo, serão apresentadas as principais etapas da implantação do projeto piloto, alguns detalhes de sua operação. No início do projeto, foi efetuada uma análise prévia dos equipamentos e do local, que determinou os critérios de instalação, melhor ângulo de inclinação e posicionamento dos módulos FV visando obter condições ótimas de produção de eletricidade. Através dos dados de irradiação do plano inclinado foi calculado a previsão de geração mensal e anual do sistema, e com esse projeto piloto espera-se demonstrar a importância da aplicação de sistemas de armazenamento com geração fotovoltaica, possibilitando seu maior conhecimento, visando ampliar a aplicação dessa energia.

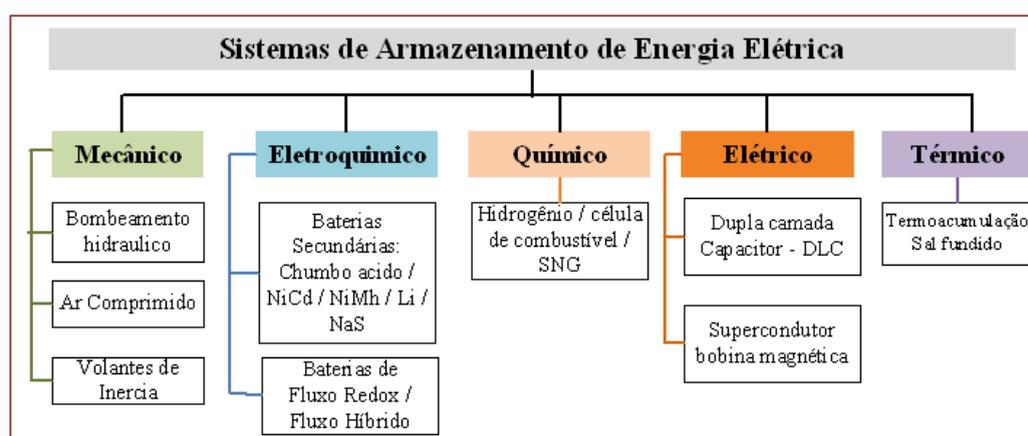
Palavras-chave: Armazenamento de Energia, Sistemas Fotovoltaicos, Projeto-Piloto.

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias de armazenamento de energia são consideradas elementos-chave para um futuro sustentável no fornecimento de energia por meio da geração distribuída (Munzke *et al.*, 2017). Nos sistemas fotovoltaicos em que a geração intermitente é substancial, o armazenamento de energia confere aos usuários maior flexibilidade para maximizar os benefícios e ajudar a atenuar os problemas de rede causados pelo aumento da geração flutuante (Wang *et al.*, 2018).

Del Pero *et al.*, (2018) afirmam que a energia pode ser armazenada e restabelecida posteriormente, em local diferente e em diferentes níveis de temperatura, para preencher a lacuna entre a oferta e a demanda de energia. Isto é possível com base nas leis termodinâmicas das transformações de energia entre diferentes formas de energia. Neste sentido, há 5 técnicas para armazenar a energia: mecânica, eletroquímica, química, elétrica e térmica, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Classificação das topologias de armazenamento.



Fonte: Adaptado de IEC (2019).

Diversas são as aplicações (modos de operação) quanto as tecnologias comercialmente disponíveis, e suas capacidades podem ser bastante variáveis quanto à resposta de carregamento ou descarregamento, o que interfere no porte do sistema. Na Tabela 1 são mostradas essa relação de aplicações diretas das tecnologias de armazenamento com relação ao tempo de descarga, potência nominal, densidade de energia, eficiência, vida útil e duração da carga/descarga.

Tabela 1 – Principais características das tecnologias de armazenamento de energia

Tecnologias	Potência	Densidade		Rendimento	Vida útil		Duração		Auto- Descarga
	MW	Wh/kg	W/kg	%	Anos	Ciclos	Carga	Descarga	% Dia
Armazenamento de Ar comprimido	10-100	2-6	1.5-3	40-75	20-40	>1300	2-24h	m-h	0
Aproveitamento Hídrico Reversível	100-1000	0.5-1.5	0.1-0.4	75-85	40-60	>1300	4-12h	h	0
Volante de Inercia	000.1-1	5-130	500-5000	90-95	15-20	10 ⁵ -10 ⁷	s-min	<15min	20-100
Supercondensador	000.1-10	0.05-30	500-5000	85-98	>20	>5x10 ⁵	ms-h	s-min	2-40
Supercondutor magnético	0.1-10	2-5	1000-5000	95-98	>20	>1000000	ms-8s	m-h	10-15
Células de combustíveis	0.01-1000	600	0.2-20	20-50	5-15	>1000	min-sem	h	0
Baterias de chumbo ácido	<70	30-50	75-300	70-90	3-15	500-2000	s-3h	8h-16h	0.1-0.3
Baterias de Níquel-Cadâmio	<40	45-80	150-300	60-75	10-20	1000-2500	s-h	1h	0.2-0.6
Baterias de hidretos metálicos de Níquel	10 ⁻⁴ -0.2	60-120	70-756	60-75	5-15	200-1500	s-h	2h-4h	0.4-1.2
Baterias de íons de Lítio	0.1-5	75-250	230-340	85-98	5-20	1000-10 ⁴	min-5h	min-h	0.1-0.3
Baterias de Sódio-Enxofre	0.05-50	150-244	90-230	75-90	10-20	2000-5000	5h-8h	9h	20

Fonte: Lopes (2015).

Conforme ressaltado na Tabela 1, nota-se que as baterias de chumbo-ácido apresentam uma capacidade de armazenamento menor que as baterias de íons de lítio, densidade maior e vida útil reduzida, porém as baterias de chumbo-ácido ainda são bastante utilizadas devido às vantagens sobre as outras tecnologias, quanto ao seu baixo custo e nível de maturidade aprimorada, sendo mais facilmente encontradas para aplicação (Suberu et al., 2014) (Opiyo, 2016).

Akhil *et al.* (2013) descrevem alguns modos de operação possíveis para as funcionalidades de armazenamento de energia e seus usos simultâneos como: serviços auxiliares, serviços de transmissão, serviços de distribuição, sistema de energia massiva e gerenciamento de energia do consumidor. No que se refere à integração do armazenamento de energia com energias renováveis, é possível aplicar estas duas últimas categorias mencionadas, contemplando os seguintes modos de operação: deslocamento de carga (*time-shifting*), redução de pico de demanda (*peak-shaving*), back-up de energia, gestão da demanda e consumo e gerenciamento de qualidade e confiabilidade. Com estes modos de operações, o sistema FV estará apto a descarregar sua energia através do armazenamento de energia durante um período, como por exemplo, no horário de ponta, em horários em que a tarifa é mais cara.

Estes modos de operação exigem a aplicação de tecnologias de armazenamento químico e mecânico, no entanto o armazenamento ativo por meio de volantes e supercapacitores (mecânicos) tem uma penetração de energia muito limitada para esses serviços e a tecnologia eletroquímica mais adequada. Segundo Del Pero *et al.*, (2018), existem vários parâmetros que devem ser considerados dependendo da aplicação, a saber: energia, profundidade da descarga, custo, segurança, condições garantidas pelo fabricante, temperatura ambiente, manutenção, como bem como a disponibilidade de espaço necessário para a instalação no edifício. Para esse tipo de aplicação, há uma variedade de tecnologias disponíveis no mercado, com parâmetros técnicos e capacidade nos seguintes tipos:

- Baterias de chumbo-ácido: estes são os dispositivos eletroquímicos recarregáveis mais antigos e mais usados, onde eletrodos de chumbo e óxido de chumbo são usados em um eletrólito contendo cerca de 37% de ácido sulfúrico (Akbari *et al.*, 2018).
- Baterias de fluxo: são baterias em que a energia é armazenada diretamente na solução de eletrólitos para ciclos de vida estendidos e tempos de resposta rápidos (Akbari *et al.*, 2018).
- As baterias de íon de lítio consistem em uma célula contendo dois materiais reativos capazes de sofrer uma reação química de transferência de elétrons (Akhil *et al.*, 2013).

Nesse contexto, o trabalho tem por objetivo descrever as principais fases da implantação do projeto piloto de um sistema fotovoltaico de 10,8kWp conectado à rede com armazenamento de energia na cidade de Curitiba. O projeto em desenvolvimento visa também analisar as estratégias de gerenciamento de energia, utilizando sistema de armazenamento de energia.

2. PLANTA PILOTO

Visando o melhor aproveitamento da energia gerada pelo sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR's) da UTFPR, o Laboratório de Energia Solar (LABENS) aprovou um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) junto à Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) ("PD 2866-0464/2017 - Metodologia para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas"), com diversos objetivos, dentre eles efetuar o gerenciamento da energia através da aplicação de baterias junto a geração FV.

Para atingir tal objetivo, foi elaborado o projeto piloto contemplando um SFVCR, com potência instalada total de 10,8 kWp, instalado nas condições ótimas de operação, ou seja, painel FV instalado com inclinação da latitude do local e orientados ao norte geográfico, porém instalado no solo, com inversor bidirecional e baterias na sede Neoville da UTFPR. O sistema proposto entrou em operação em maio de 2019 e tem como objetivo demonstrar diversas operações, como por exemplo, reduzir as flutuações na geração fotovoltaica, *peak-shaving*; *backup de energia*; deslocamento de carga (*load-shifting*); operar de modo ilhado e independente da rede elétrica; regulação dos níveis de tensão; regulação de frequência e controle reativo de alimentadores.

A escolha do inversor bidirecional foi fundamentada na extensiva revisão do estado da arte de sistemas de armazenamento em edifícios FV, buscando equipamentos que pudessem atender o controle dessas redes

inteligentes (*smart grids*) no contexto dos edifícios inteligentes (*smart buldings*). Esse sistema necessita de diversos equipamentos como: inversor, controlador de carga, sistema de gerenciamento de banco de baterias, podendo ser um equipamento totalmente integrado. A fim de atender estas especificações e os modos de operação citados anteriormente, foi realizado um levantamento em vários fornecedores de equipamentos na Intersolar da Europa e do Brasil em 2018, onde verificou-se a presença de bastante opções disponíveis para aplicação.

Durante a fase de especificação do equipamento, houve uma grande oferta de inversores bidirecionais já disponíveis para comercialização no mercado brasileiro, presente nestas feiras. Então, foram estabelecidos contatos com 12 empresas fornecedoras de inversores bidirecionais, onde foram levantados dados como: modos de operação; tipo de tecnologia compatível; potência e tensão do equipamento; disponibilidade de venda no território brasileiro; tipos de aplicações (residenciais, comerciais e industriais); sistema de monitoramento; homologações e custos.

Os fornecedores de inversores contatados na Intersolar South America foram: Elgin; Weg; NHS; Ingeteam; ABB; Outback; Fronius; Growatt; SMA; Huawei; Sungrow e GoodWe. Dentre estes fornecedores apenas a NHS, Ingeteam; ABB; Outback e Growatt apresentaram equipamentos com a potência requerida para o projeto piloto e inversor integrado ao controlador de carga e sistema de monitoramento.

Estudando a folha de dados (*datasheets*) de cada fornecedor, identificou-se a existência de diversas vantagens na aplicação destes equipamentos, como por exemplo, o monitoramento e controle da planta através da aplicação do sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (*Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA*), ou outros equipamentos de diferentes protocolos de aplicação. Além disso, há limitação de operar com apenas um ou dois tipos específicos de tecnologia de bateria, dependendo do modelo do equipamento.

Devido à parceria estabelecida entre UTFPR para o desenvolvimento de tecnologia de equipamento que atenda a este P&D, a NHS foi a empresa escolhida a participar deste projeto piloto. Além do mais, existe maior acessibilidade quanto as fases de desenvolvimento do inversor, havendo grande interação entre fornecedor e instituição executora do projeto, com relação à acesso a dados, protocolo de comunicação e atualização das funcionalidades exigidas. Na Figura 2 são mostrados o inversor especificado e seus dados técnicos.

Figura 2 – Inversor da NHS e seus dados técnicos

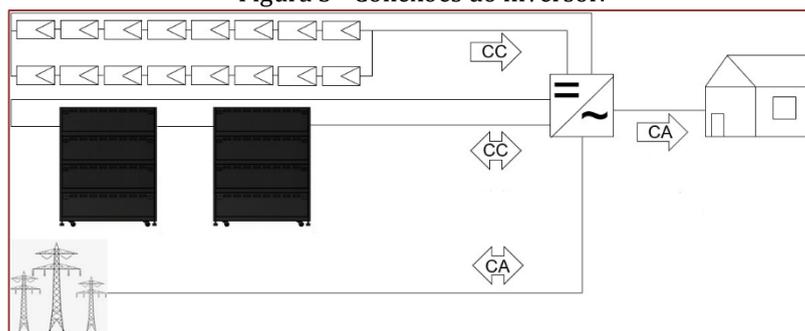
DADOS	
Parâmetros CC	
Potência Máxima CC	5400 W
Tensão Máxima CC	430 Vcc
Faixa de tensão MPPT	220- 400 Vcc
Corrente Máxima CC	25 A
Tensão de rede nominal	220 Vac
Corrente máxima CA	25 A
Frequência da rede	60 Hz
Potencial Nominal CA	5 kVA
Tensão das baterias	192 Vcc
Tensão de Operação das Baterias	168 - 232 V
Máxima corrente de carga e descarga	25 A Vcc
Tipo de bateria compatíveis	Chumbo Ácido – Íons de Lítio
Eficiência	-
Topologia	Não isolado
Temperatura de Operação	0 - 50 °C
Faixa de Fator de Potência	Padrão>0,99, 0,8 cap; 0,8 ind
Peso	22 Kg
Índice de Proteção	IP65

Fonte: Dados fornecidos pela NHS.

Para atender as especificações desse projeto, o sistema foi composto por um gerador FV de 10,8 kWp, 2 inversores monofásicos bidirecionais de 5 kW, e o sistema de armazenamento composto por 80 elementos de baterias do tipo chumbo ácido estacionárias modelo DF1000 do fabricante Heliar Freedom 60Ah-12V, totalizando 57,60 kWh em capacidade de armazenamento de energia, sendo sua configuração composta por 4 racks, sendo 2 racks conectados em paralelo ao inversor bidirecional, com 20 baterias em cada rack conectadas em série. Em vista disso, sua autonomia de fornecimento de energia é variável e será testada com o estudo proposto, a fim de operar nos horários coincidentes ao atendimento do horário de ponta. Quanto a profundidade de descarga no banco de baterias será considerado e analisado a menor taxa, a fim de prolongar sua vida útil, de acordo com folha de dados da bateria, já que estudos sobre envelhecimento deste tipo de tecnologia feitos por Krieger *et al.*, (2013), confirmam que a profundidade de descarga máxima pode ser de até 50%. Além do mais, é possível prolongar sua vida útil, evitando condições críticas de operação, como sobrecarga e descarga profunda (Duryea *et al.*, 1999).

Na Figura 3 é representado um esquema simplificado de conexões do inversor, composto por: painel FV, banco de baterias e suas respectivas interligações com rede elétrica e consumidor contemplado com o SFVCR-B.

Figura 3 - Conexões do inversor.



Com a implementação desse projeto espera-se analisar os modos de operações mais adequados para o uso na UTFPR com implementação dos sistemas de armazenamento junto a geração FV, possibilitando o maior aproveitamento dessa energia. Assim com a elaboração de cenário de interação entre geração, demanda e carregamento de bateria pretende-se aumentar a autonomia de consumidores comerciais, testando quais são as melhores estratégias de gerenciamento para o caso analisado, com a operação flexibilizada entre consumidor e rede elétrica.

3. ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

Nas etapas de implantação do projeto-piloto, foram desenvolvidas vários estudos de sombreamento, produtividade e integração do sistema de armazenamento visando atender uma parcela da demanda da universidade.

As análises de sombreamento foram feitas a partir da localização geográfica do local estudado, por meio da variação de diferentes inclinações dos módulos FV, resultando na inclinação nas condições ótimas de operação, que neste caso é de $25,5^\circ$ igual a latitude do local e com desvio azimutal de 0° para o Norte. Com auxílio do software SketchUp foram verificados os piores e melhores cenários, em diferentes estações como no inverno (a, b) e no verão (c, d), e estes resultados são representados pelas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Análise de sombreamento no período do inverno (a) 21/06 – 8:00 e (b) 21/06 17:00.

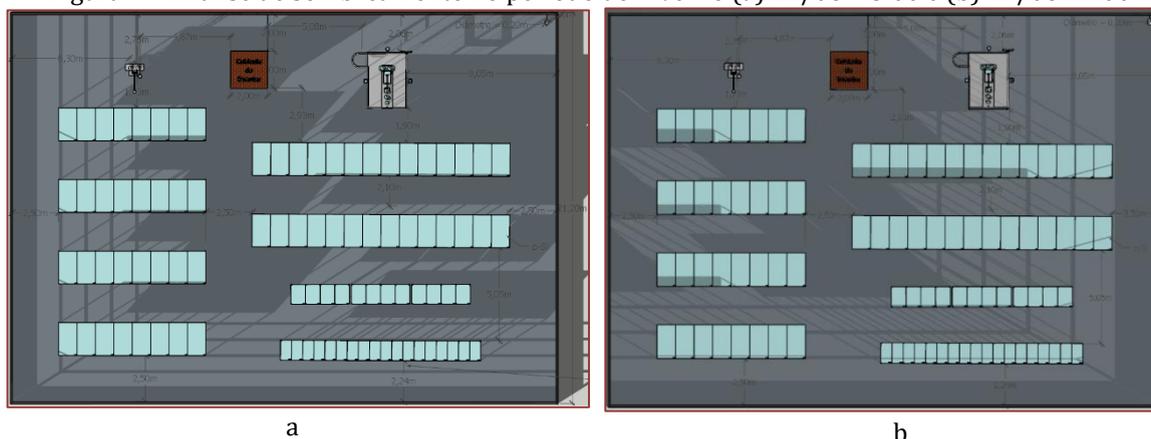
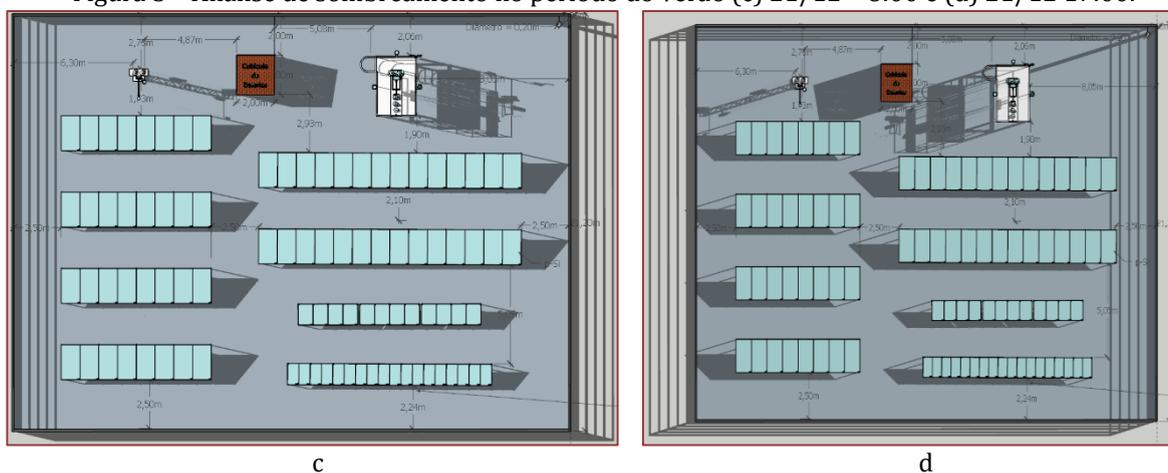


Figura 5 – Análise de sombreamento no período do verão (c) 21/12 – 8:00 e (d) 21/12 17:00.



Conforme mostrado nas figuras 4 e 5, nota-se os módulos posicionados à 25° foi o que resultou na inclinação mais adequada para os cenários estudados. Após concluída essa etapa, iniciou-se a preparação da área de instalação do projeto piloto, com a demarcação de uma área de aproximadamente 636m^2 com dimensões de 30m de largura por 21,20m de comprimento. Em seguida, foi efetuado a nivelção da área, com supressão da vegetação da camada superficial de 5cm, demarcação das distâncias das sapatas e preparação das caixas para concretagem. Posteriormente, as sapatas foram construídas com fundação enterrada no solo e altura variando de 0,20m a 0,50m acima do nível da superfície acompanhando o nível do solo. A etapa de preparação das sapatas é mostrada na figura 6a. A etapa seguinte contemplou a instalação dos suportes de aço galvanizado e a colocação de uma camada de brita nº 2 de 5cm sobre o solo, para evitar a proliferação de vegetação rasteira. Na figura 6b é mostrado a instalação das estruturas metálicas para posterior instalação dos módulos FV, mostrados na Figura 7a e Figura 7b.

Figura 6 – Preparação das sapatas para instalação da estrutura metálica (a) e estruturas metálicas.



Figura 7 – Etapas de instalação dos módulos FV (a) e (b).



A última etapa compreendeu a instalação do banco de baterias e inversores bidirecionais no abrigo em alvenaria com dimensões 2,00x2,00x2,20mts (comprimento x largura x altura), mostradas na Figura 8.

Figura 8 – SFVCR-B e inversores bidirecionais na sede Neville da UTFPR



Atualmente, o sistema se encontra em fase de operação, porém as estratégias de gerenciamento de energia utilizando o sistema de armazenamento se encontram em fase de desenvolvimento.

4. RESULTADOS ESPERADOS

O cálculo da geração de energia mensal e anual estimada foi efetuada utilizando dados de irradiação no plano inclinado provenientes da base de dados do Atlas Paranaense de Energia Solar (Tiepolo *et al*, 2017). Na Figura 9 são mostrados os dados utilizados para esta estimativa e a visão área do local de instalação.

Figura 9 – Dados de irradiação solar do local de estudo.



Fonte: Tiepolo *et al.*, (2017).

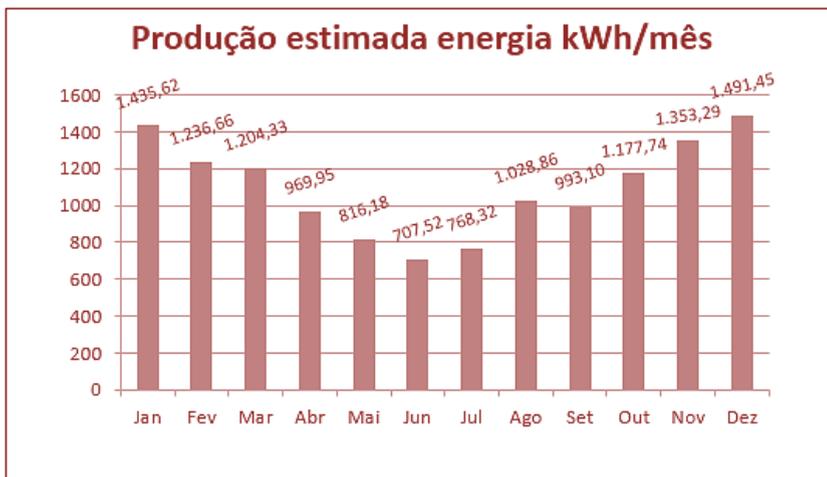
Obtidos os valores de irradiação diários médios mensais no plano do painel fotovoltaico, estima-se a geração diária média de energia elétrica através da Eq. (1) (Pinho e Galdino, 2014).

$$E = \frac{P_{FV} \times H_{TOT} \times PR}{G} \dots\dots\dots(1)$$

Onde: E: energia elétrica diária média (Wh/dia); P_{FV}: potência fotovoltaica de pico instalada (Wp); H_{TOT}: irradiação solar diária média mensal para a localidade em questão (Wh/m².dia); PR: Taxa de Desempenho ou Performance Ratio, tipicamente entre 70 e 80% (80% para esta análise); G: irradiância nas Condições Padrão de Teste (1.000 W/m²).

Os resultados calculados de estimativa de geração mensal e anual são apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Geração calculada mensal do sistema de 10,8kWp.



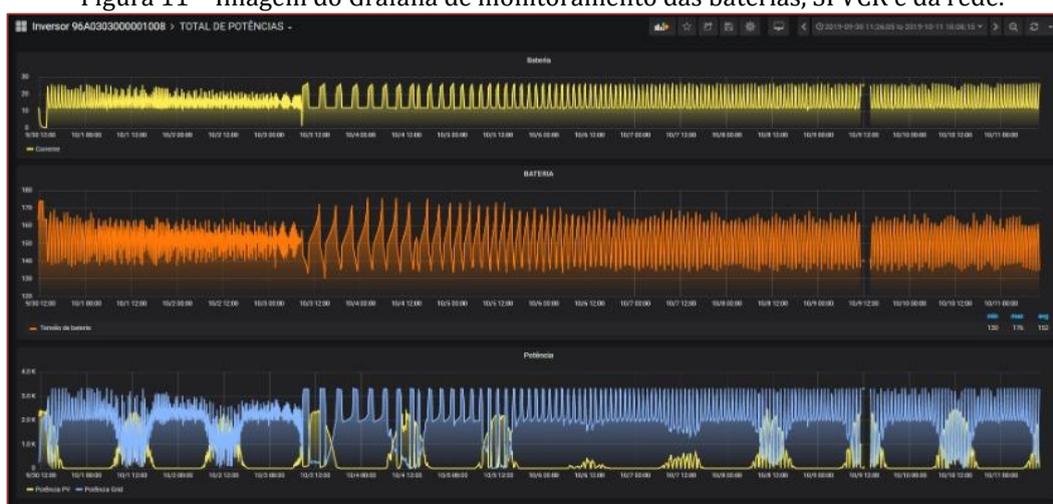
Como o processo de armazenamento é baseado em estados carga (SOC) e descarga (DOD) da bateria, para o projeto piloto serão definidas as taxas adequadas para SOC e DOD, visando a operação segura das baterias

de chumbo-ácido. Logo, para cada modo de operação estabelecido para este sistema, a premissa de carga/descarga deve ser considerada na atuação do inversor bidirecional.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluída a etapa de implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede com armazenamento de energia na Sede Neville da UTFPR em Curitiba, a equipe do LABENS está trabalhando nos protocolos de comunicação e no desenvolvimento das funções dos inversores bidirecionais de 5kW da NHS, para que os mesmos possam injetar a energia armazenada dos bancos de baterias no horário de ponta que é o horário em que o kWh custa mais caro. Um inversor bidirecional está em laboratório, sendo efetuados testes de comunicação com o equipamento, além disso, estão sendo desenvolvidas e testadas as rotinas das estratégias de gerenciamento de energia do inversor. Na Figura 11 é apresentado um gráfico do software Grafana, de um teste de autoconsumo em que estão sendo monitorados as grandezas Corrente (I) e Tensão(V) das baterias, potência do sistema fotovoltaico e da rede.

Figura 11 – Imagem do Grafana de monitoramento das baterias, SFVCR e da rede.



A expectativa de geração de energia elétrica anual do sistema é de 13,2MWh, podendo haver a injeção programada da energia de 56,7kWh na rede durante o horário de ponta, compreendido entre 18:00 – 21:00, visando atender uma parcela de demanda por energia elétrica da universidade.

Com a implementação deste projeto piloto na universidade, espera-se demonstrar a viabilidade da aplicação de sistemas de armazenamento com geração fotovoltaica, possibilitando o maior uso dessa energia. Assim, com a elaboração do cenário de interação entre geração, demanda e carregamento de baterias, pretende-se aumentar a autonomia dos consumidores comerciais, testando quais são as melhores estratégias de gestão para o caso analisado, com a operação flexível entre consumidor e rede elétrica.

Portanto, através do projeto piloto será possível analisar as estratégias e cenários capazes de atender a necessidade do local e viabilizar a aplicação desta solução inédita no cenário brasileiro em consumidores de todos os portes, viabilizando um cenário com menores incertezas com relação às variáveis e regulação da operação destes sistemas em ambientes urbanos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e a COPEL-Distribuição, pelo apoio e financiamento dos recursos para realização deste projeto de P&D “ANEEL PD2866-0464/2017 - Metodologia para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por fontes incentivadas. Os autores também agradecem ao Instituto Lactec pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Akbari, H. et al., 2018 Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems. *Solar Energy*.
- [2] Akhil, A. A. et al., 2013 DOE/EPRI 2013 electricity storage handbook in collaboration with NRECA. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.
- [3] Del Pero, C. et al., 2018 Energy storage key performance indicators for building application. *Sustainable cities and society*, v. 40, p. 54-65.
- [4] Duryea, S., Islam, S., Lawrance, W., 1999. A battery management system for stand alone photovoltaic energy systems. In: *Conference Record of the 1999 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fourth IAS Annual Meeting (Cat. No. 99CH36370)*. IEEEp. 2649-2654.
- [5] IEC - International Electrotechnical Commission. *Electrical Energy Storage – WhitePaper*, 2011, acesso em 28/11/2019. Disponível em: <https://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>.
- [6] Krieger, E. M., Cannarella, J., Arnold, C. B., 2013. A comparison of lead-acid and lithium-based battery behavior and capacity fade in off-grid renewable charging applications. *Energy*, v. 60, p. 492-500.
- [7] Munzke, N., Schwarz, B., Barry, J., 2017. The Impact of Control Strategies on the Performance and Profitability of Li-Ion Home Storage Systems. *Energy Procedia*, v. 135, p. 472-481.
- [8] Opiyo, N., 2016. Energy storage systems for PV-based communal grids. *Journal of Energy Storage*, v. 7, p. 1-12.
- [9] Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). CEPEL - GTES. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 529 p.
- [10] Lopes, S. A. S., 2015. *Tecnologias de Armazenamento de Energia para Fornecimento de Serviços de Sistema*. Dissertação de Mestrado..
- [11] Suberu, M. Y., Mustafa, M. W., Bashir, N., 2014. Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 35, p. 499-514.
- [12] Tiepolo, G. M., Pereira, E. B., Urbanetz Junior, J., Pereira, S. V., Goncalves, A. R., Lima, F. J. L., Costa, R. S., Alves, A. R. 2017. *Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná*.
- [13] Wang, Z.; Gu, C.; Li F., 2018. Flexible operation of shared energy storage at households to facilitate PV penetration, *Renewable Energy*, v. 116, pp. 438-446.

Capítulo 18

Bancada de ensaios outdoor para aquecedores solares acoplados

Samuel Vinicius de Andrade Rocha

Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz

Fabio Rezende Costa

Lucas Paglioni Pataro Faria

Resumo: Este artigo consiste no planejamento e dimensionamento do projeto de uma bancada de ensaios Outdoor para aquecedores solares acoplados, baseado em dimensões reais. Tal estudo analisa a situação do mercado de aquecimento solar, tanto em aquecedores solares acoplados, como também, aquecedores planos. Analisando a evolução do mercado de aquecimento solar ao longo dos anos e as expectativas futuras de crescimento deste. Realizando um estudo do mercado de aquecimento solar na atualidade, dos tipos de aquecedores solares, opções de venda, quais os segmentos e as regiões crescentes de adesão desses equipamentos, com a consideração do tamanho dos reservatórios e áreas coletoras, que estão presentes em maior número nesse mercado. Destaca a importância, da fiscalização dos aquecedores para verificar sua eficiência e também da realização dos ensaios para esse fim. Assim, verifica quais tipos de aquecedores solares a serem ensaiados pela bancada e as dimensões desses aquecedores mais presentes no mercado, possibilitando o dimensionamento do projeto de uma bancada de ensaios, que os atenda. Com base nos dados obtidos, foi possível dimensionar uma bancada de ensaios Outdoor, de 12 m² de área, para os aquecedores solares acoplados, mas também, permite ensaios em alguns aquecedores planos, para as faixas de dimensões determinadas, de 4 a 9 m² de área coletora e até 800 litros de reservatório. Possibilitando, assim, a fiscalização desses equipamentos para aprovação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e posteriormente a venda. Além, de auxiliar na área de pesquisa em inovações de aquecimento solar e melhorias destes.

Palavras-chave: Aquecedores solares, Bancada, Ensaio Outdoor

1. INTRODUÇÃO

O maior responsável pelo consumo de energia elétrica em residências é o chuveiro elétrico, que pode representar até 40% do custo da conta (DUSOL, 2018). O aquecimento da água com energia solar é uma excelente alternativa de se investir, para economizar energia elétrica e também ter água quente, pois o processo de aquecimento ocorre por meio do calor fornecido pela radiação solar (Portal Solar, 2019). É um sistema muito simples e consiste na instalação das placas coletoras, que absorvem a radiação do Sol, esquentam a água que é armazenada em um reservatório com um revestimento térmico apropriado e a mantém aquecida. Quando não faz sol, há um gerador secundário no reservatório, que na verdade, é uma resistência elétrica (assim como a do chuveiro), que aquece a água na ausência de radiação solar. A durabilidade média de um sistema de aquecimento solar pode variar de 10 a 20 anos, mas isso, dependendo da qualidade do equipamento e dos materiais usados (DUSOL, 2018).

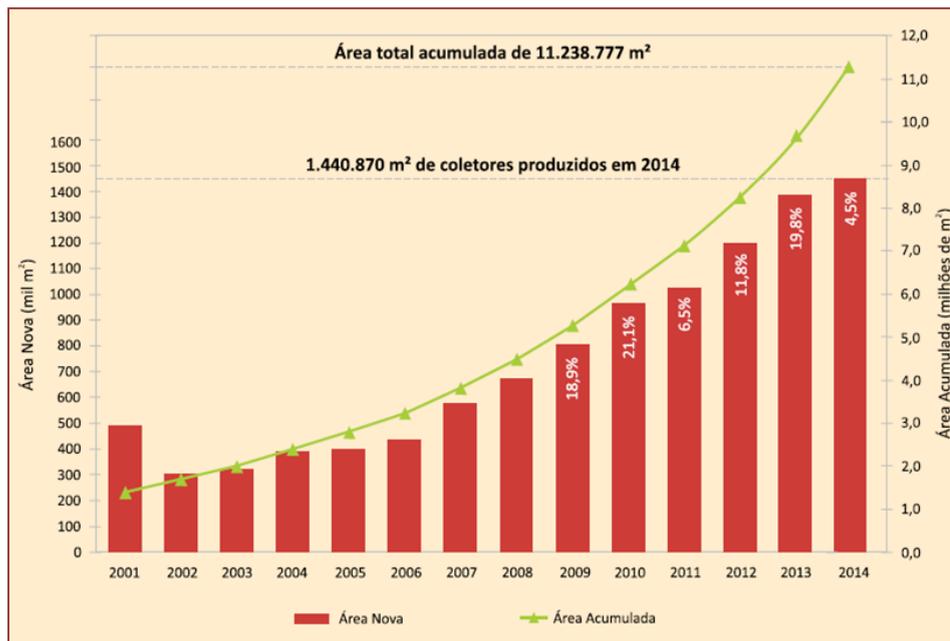
O sistema de aquecimento solar residencial surgiu no Brasil, nos anos de 1970, motivado pela crise do petróleo. E nos anos 80, iniciou-se a realização dos testes de qualificação dos equipamentos, que tinham o objetivo de aquecer água com energia solar e também criadas as Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que regulamentavam esses testes. Com o tempo, o mercado ficou cada vez mais exigente e ao passar dos anos, a qualidade dos sistemas precisou ficar cada vez melhor, mas com um preço mais baixo, pois a junção desses dois fatores caminharam juntas para que os sistemas de aquecimento solares de água se populariza-se (Portal Solar, 2019).

De 2010 a 2015, o mercado de equipamentos de aquecimento solar no país avançou 8%. Segundo a IEA (2015), Agência Internacional de Energia, o país estava em 5º colocado mundial, no geral, no ranking de uso de coletores solares para aquecimento de água, em 2013, com 6,726 GWh e 9,6 milhões de m². Além disso, era o 3º colocado mundial em coletores solares abertos instalados e o 4º colocado em coletores fechados (IEA, 2015). Esse fato ocorreu devido popularização desse tipo de sistema, ocasionando uma maior necessidade pela padronização e verificação de eficiência destes equipamentos, através do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) responsável pela vistoria. Há ofertado no mercado vários modelos desse sistema de aquecimento solar, podendo ser acoplados ou não, justaposto ou monoblocos e com coletores a vácuo ou planos. Segundo a Portaria nº 301, de 14 de junho de 2012, um sistema acoplado é o conjunto do coletor solar com o reservatório térmico, podendo ser de dois tipos: justaposto ou monobloco. Sendo o sistema acoplado justaposto, aquele em que o coletor solar e o reservatório térmico não formam um corpo único, estando fisicamente dissociados. Já o sistema acoplado monobloco, é aquele em que o coletor solar e o reservatório térmico formam um corpo único, estando fisicamente unidos.

2. MERCADO BRASILEIRO DE AQUECIMENTO SOLAR

O Brasil, em 2008, apresentou uma área instalada de coletores solares que era de 4,4 milhões de m², como mostra a Fig. 1. Entre 2007 a 2009 observou-se um crescimento acima de 20%. Mesmo sabendo, que os 4,4 milhões de área instalada no Brasil em 2008, representam menos que 2% do mercado potencial nacional, os resultados em economia de energia já eram significantes. Em 2008, graças ao uso de aquecedores solares, foi possível economizar 655 GWh de energia elétrica, o que poderia abastecer 376 mil residências, consumindo a média brasileira de 145 kWh por mês. Se considerarmos, que essa energia foi economizada no período de ponta do sistema elétrico pode-se calcular que a potência instalada destes coletores solares, equivalem a uma usina de 640 MW, que custaria no mínimo R\$ 2 bilhões para ser implantada (RODRIGUES, 2010).

Figura 1 - Evolução do Mercado de aquecimento Solar Brasileiro 2001 à 2014

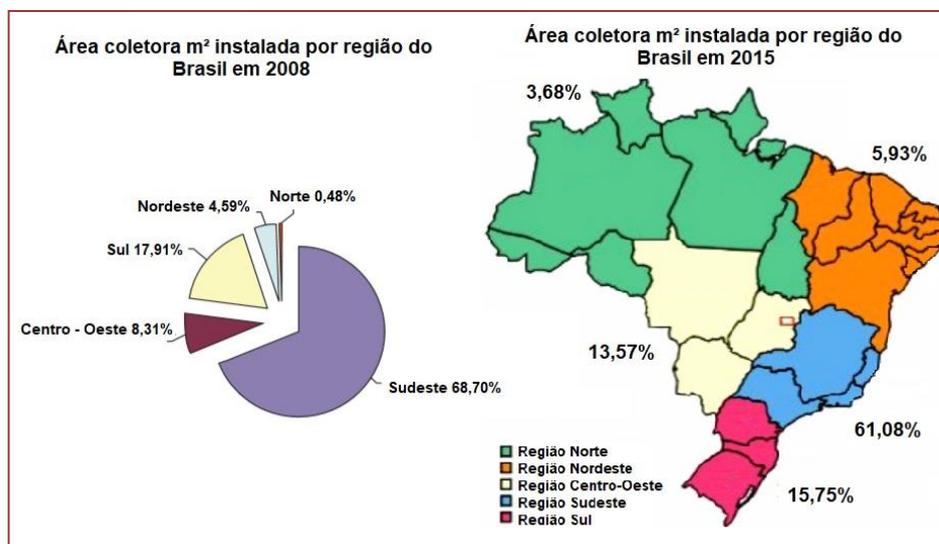


(Portal Agua Quente - 2016)

Já em 2014, o parque solar térmico brasileiro atingiu a produção de 7.354 GWh, a partir de uma área total de 11,24 milhões m² de coletores solares instalados no país, o que segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), abasteceria durante um ano 3,7 milhões de residências, com um consumo médio residencial de 166kWh/mês (Portal agua quente - 2016), 10 vezes mais que em 2008. Isso resultou em uma maior popularização desse sistema, reduzindo custo, facilitando o acesso e melhorando a tecnologia. No Brasil o mercado de aquecedores pode ser dividido por região ou por segmento.

Ainda em 2008, observou-se que a região Sudeste tinha praticamente 70% dos coletores, os 30% restantes eram distribuídos nas regiões Centro-Oeste, Sul, Nordeste e Norte (RODRIGUES, 2010). Já em 2015, o Sudeste continuou com a maior participação de mercado, com 61,08%, depois, o Sul (15,75%), Centro-oeste (13,57%), Norte (5,93%) e o Nordeste (3,68%), como mostra na Fig. 2. Dessa forma, verifica-se que a região Sudeste ao longo dos anos, tornou-se a região mais atrativa para o setor.

Figura 2 - Área coletora em m² instalada por região no Brasil em 2008 e 2015



(RODRIGUES - 2010 (ABRAVA - 2008); ABRAVA - 2016)

Já com relação à divisão por segmento, como mostra na Fig. 3, o mercado residencial é o que apresentou a maior participação, sendo mais de 50% do mercado. Isso devido ao menor porte dos sistemas entre 2 a 4 m² de coletores e 200 a 500 litros de reservatório, além da facilidade de dimensionamento, instalação e divulgação. Porém, o segmento industrial obteve um alto crescimento de 2% em 2013 para 17% em 2014, ganhando peso no mercado, sendo sistemas de maior porte de áreas maiores que 4 m² instaladas de coletores e reservatórios também de maior porte.

Figura 3 - Distribuição de vendas de aquecedor solar por segmento em 2013 e 2014



(Portal Agua Quente – 2016)

Segundo o Ministério do Planejamento (2015), o aquecimento solar residencial vai aumentar para 24% do mercado potencial nacional até 2050, diminuindo o uso de energia elétrica para esse fim e reduzindo também os custos para os moradores. A previsão consta dos estudos econômicos e de demanda para o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050. A substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares vai reduzir o uso de energia elétrica para o aquecimento de água de 88% (2013) para 38% (2050), liberando essa energia para outros fins. Esses chuveiros estão em 70% dos domicílios no Brasil e seu gasto durante o ano, corresponde a quase 30% do gasto de energia gerada pela Usina de Itaipu. Com maior uso da energia térmica solar, o país deixará de consumir cerca de 8.600 GWh da rede elétrica em 2050 (PAC, 2015).

Essas expectativas mostram que o mercado ainda irá crescer de forma significativa, surgindo assim, melhores tecnologias e fornecedores. A entrada de novos fabricantes e fornecedores implica em uma situação crítica: a necessidade de verificação, adequação das normas e padrões para esses equipamentos, que estão cada vez mais populares no mercado brasileiro. Também há necessidade de verificação dos equipamentos de maior porte, que estão surgindo para atender o mercado residencial, que atualmente estão cada vez mais coletivos, atuando em grupos familiares em um único local ou em edifícios, com vários pontos de abastecimento para um único sistema. Além disso, o crescente mercado industrial está necessitando de maiores sistemas de aquecimento solar dada à demanda.

Em 2019, o Brasil estava certamente, entre os cinco mercados globalmente mais atraentes para os chineses, em relação à energia solar. Com domínio da produção mundial de fonte renovável, principalmente fotovoltaica e aquecimento solar, a China tem acelerado significativamente as vendas de equipamentos de energia solar no território brasileiro.

Com grande participação entre os fornecedores no mercado nacional, a China, está sendo uma forte competidora, com produtos semelhantes aos brasileiros e mais acessíveis. Atuando em uma larga escala de produção, os chineses fornecem uma gama de produtos e sistemas de aquecimento, que estão cada vez mais aceitos, tanto pelo segmento industrial e principalmente pelo segmento residencial. Possibilitando a escolha de sistemas mais competitivos financeiramente, que a maioria dos fornecedores brasileiros. Contudo, a questão principal é se os produtos são realmente eficientes e atendem aos padrões brasileiros.

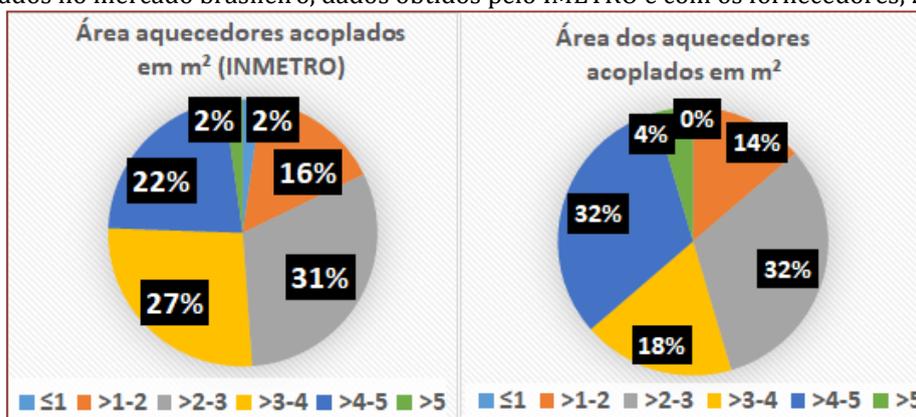
2.1. MODELOS DE AQUECEDORES SOLARES OFERTADOS PELOS FABRICANTES NO MERCADO BRASILEIRO

A oferta de modelos de aquecedores solares, pelos fabricantes no mercado brasileiro, apresenta uma gama de possibilidades de aquisição desse sistema de aquecimento. Há desde kits de aquecedores, aquecedores acoplados, reservatórios ou coletores separados. Há vários fabricantes e modelos, com características

semelhantes e outras que dão uma “qualidade a mais”, que seriam materiais melhores, estética ou melhorias tecnológicas, dando a eles um diferencial. Além disso, são vários fabricantes, cada uma com um renome que acabam influenciando os preços.

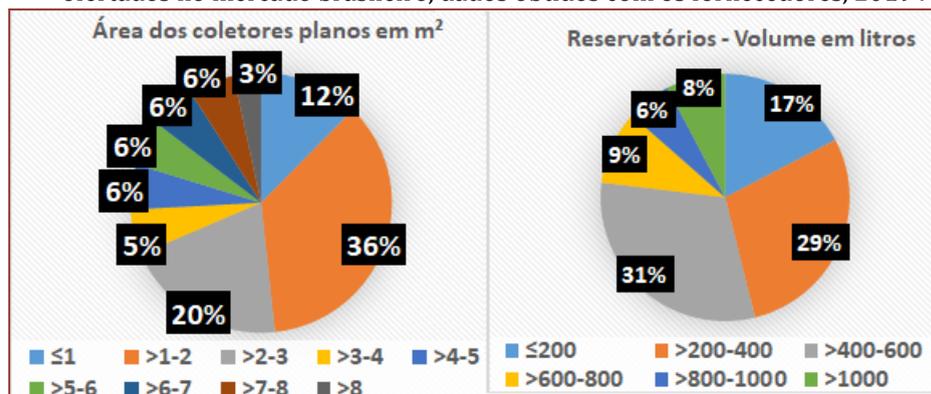
A maior concentração dos modelos de aquecedores acoplados, ofertados no mercado é entre 2 a 3 m² e entre 4 a 5 m², como mostra a Fig. 4, sendo aquecedores de maior uso residencial, para unidades familiares de 3 a 5 pessoas. Porém, também encontra-se aquecedores acoplados maiores que 5 m² que tem um uso mais voltado ao lado industrial.

Figura 4 - Área dos aquecedores acoplados verificados pelo INMETRO e aquecedores acoplados ofertados no mercado brasileiro, dados obtidos pelo IMETRO e com os fornecedores, 2019.



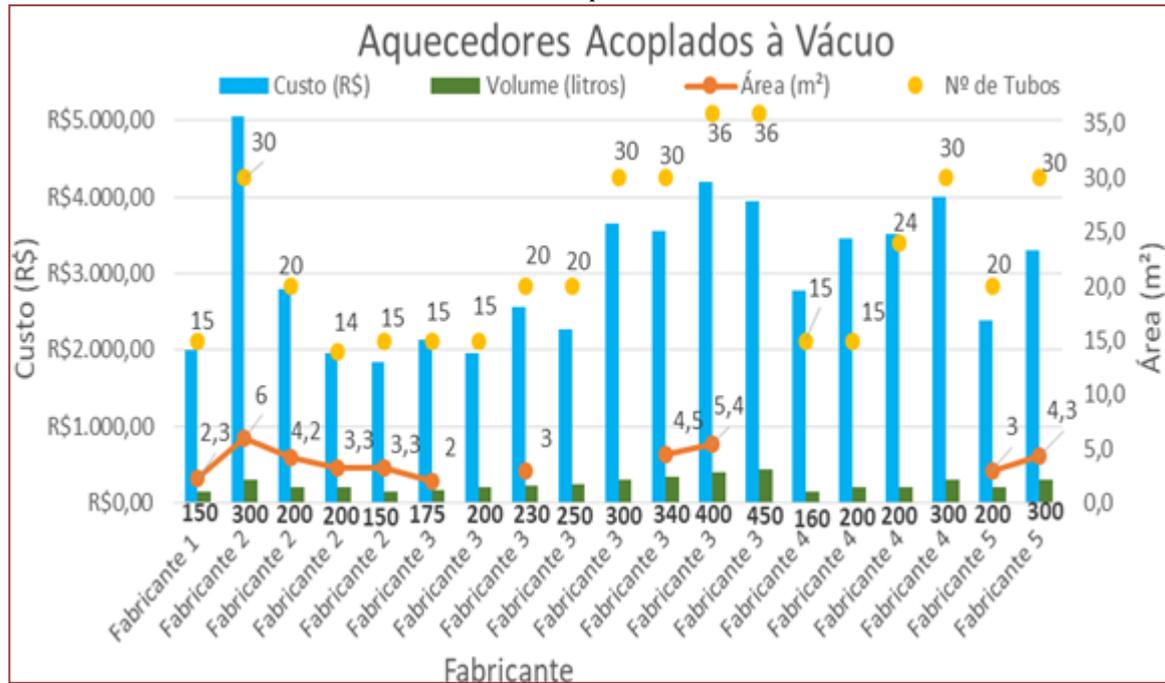
A maior participação ofertada no mercado é de coletores entre 1 a 3 m², como mostrado na Fig. 5. Contudo, há coletores maiores que 5 m², que são de um uso mais específico de certos setores em crescimento que tende a aumentar o uso desse sistema e necessitam de uma maior atenção. Já com relação aos reservatórios a maior participação está em reservatórios entre 200 a 600 litros, considerando que os reservatórios com capacidade superior a 1000 litros são normalmente fabricados sob demanda.

Figura 5 - Área dos aquecedores planos e reservatórios separados, ofertados no mercado brasileiro, dados obtidos com os fornecedores, 2019 .



O foco de modelos e aquecedores ofertados no mercado brasileiro está nos aquecedores acoplados a vácuo, representado na Fig. 6, que ganharam grande popularidade dos consumidores. Também está focado, nos kits de aquecedores que são mais em conta que a compra das partes separadas.

Figura 6 - Custo de aquisição para consumidores e dimensões dos aquecedores acoplados a vácuo, dados obtidos direto com os fornecedores presentes no mercado brasileiro, 2019.



Os aquecedores acoplados em sua maioria são a vácuo, mas também há aquecedores acoplados planos. Contudo, representam uma parcela insignificante ofertados no mercado. Além dos aquecedores acoplados a vácuo, no mercado há uma forte participação de oferta dos kits de aquecedores planos, representado na Fig. 7, e kits de aquecedores a vácuo, representado na Fig. 8, esses kits são representados por aquecedor e reservatório separados vendidos juntos.

Figura 7 - Custo de aquisição para consumidores e dimensões dos kits de aquecedores planos, dados obtidos direto com os fornecedores presentes no mercado brasileiro, 2019.

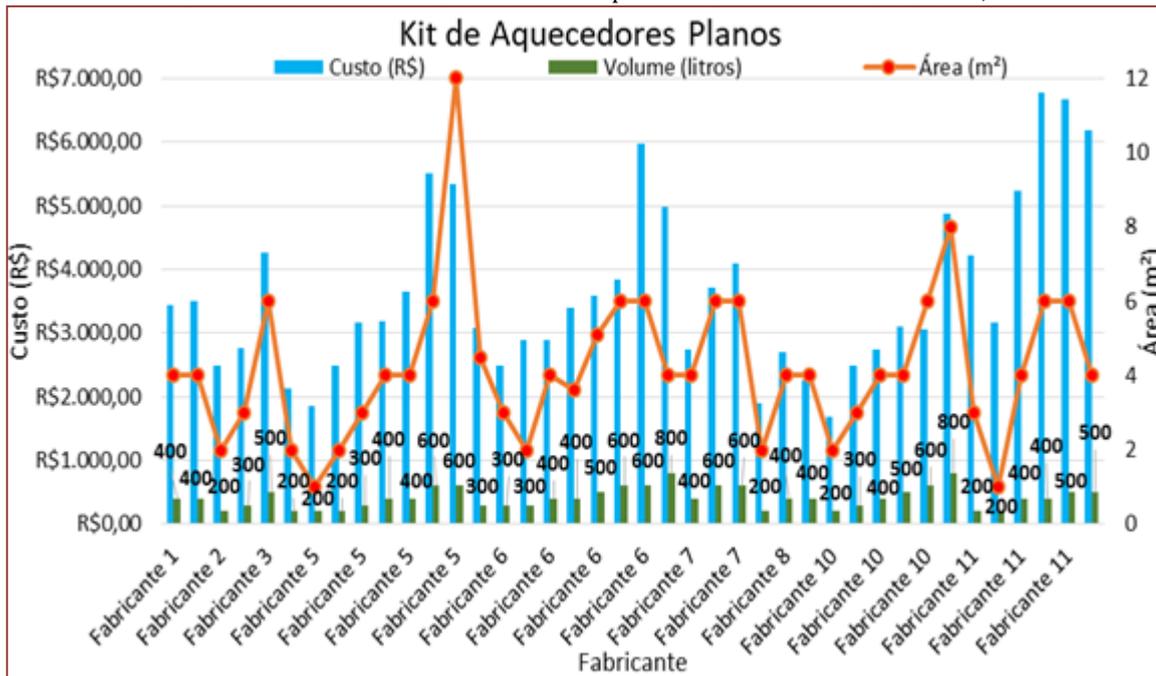
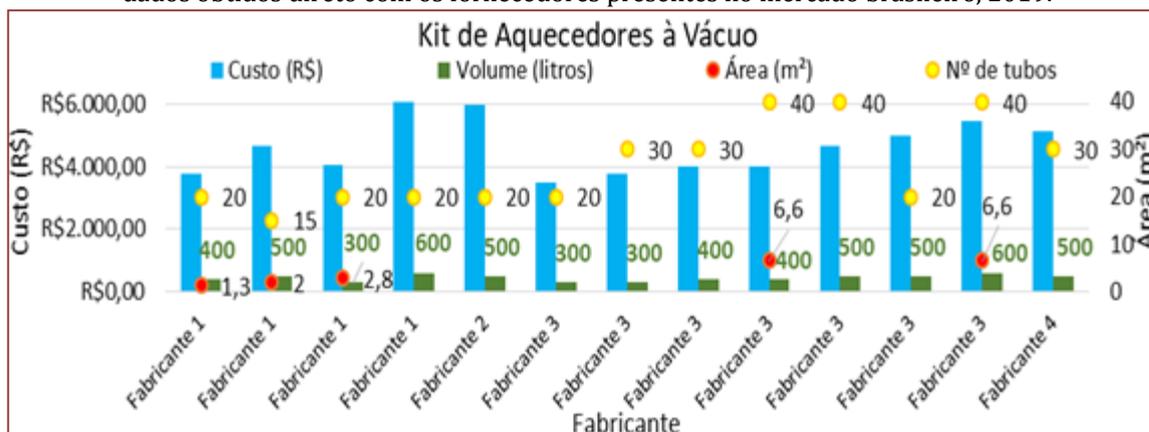


Figura 8 - Custo de aquisição para consumidores e dimensões dos kits de aquecedores a vácuo,

dados obtidos direto com os fornecedores presentes no mercado brasileiro, 2019.



A oferta no mercado ainda está focada em aquecedores entre 2 a 4 m² e de 200 a 400 litros, de acordo com os gráficos. Porém, está cada vez mais forte a participação de aquecedores de maior porte, com área superiores a 4 m² e maiores que 400 litros. Esses aquecedores, como são sistemas de maior porte, seus testes, ensaios de verificação e aprovação pelo INMETRO, apresentam um maior nível de dificuldade. Não são todos os laboratórios que estão equipados e capacitados, apresentando simuladores que comportem os aquecedores, para realizar estes testes e ensaios. Assim, sendo o mais usual ensaios e testes Outdoor.

2.2. FISCALIZAÇÃO DOS AQUECEDORES

Para a fiscalização dos produtos voltados ao aquecimento solar, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) atua na verificação e fiscalização dos equipamentos no mercado brasileiro. Segundo a Portaria 352 do INMETRO, esta obriga a certificação dos produtos para sistemas de aquecimento solar de água em todo Brasil. Proibindo a fabricação, importação ou comercialização de coletores solares e reservatórios térmicos solares até 1.000 litros, sem a certificação e o número de registro. O INMETRO faz ensaios com os produtos e auditoria nas fábricas onde são produzidos. Nesses testes, são observados se os equipamentos apresentam bom desempenho, se foram produzidos de acordo com exigentes regras de mercado e das entidades regulamentadoras do governo. Assim, é comprovado que o produto atende às recomendações das normas aplicáveis de segurança, eficiência energética ou meio ambiente (Solis, 2018).

No Brasil há três laboratórios de análise e teste para aquecedores solares de verificação e adequação as normas e padrões do Inmetro. Sendo eles, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que é um instituto vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo e há mais de cem anos colabora para o processo de desenvolvimento do País (IPT, 2019). O outro é o SCITEC, Soluções de Ensaios de Materiais e Produtos, que é um laboratório de análise, ensaios e certificações (SCITEC, 2019). E também, o Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, GREEN PUC Minas, com a missão de promover a inovação e desenvolvimento de competências, soluções e produtos destinados à utilização de energias renováveis (GREEN PUC Minas, 2017).

3. DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

Atualmente, há uma necessidade para testes e ensaios de aquecedores acoplados ou coletores de maior porte, com área de até 9 m² e volume de até 800 litros de reservatórios. Para tal, é necessário laboratórios com equipamentos especializados para os ensaios. O principal ensaio a ser feito é o de eficiência térmica, ele pode ser feito indoor, em salas com simuladores solares, que simulam as condições ideais para os ensaios em um curto período, ou também, pode ser feito o ensaio outdoor, com bancadas em condições naturais, verificando o comportamento no dia a dia. O ensaio outdoor é mais demorado, pois demanda uma maior quantidade de dados no dia a dia, necessitando de uma bancada de ensaio específica com características segundo a ISO 9459-2/1995.

O laboratório do Green PUC Minas apresenta um simulador para ensaios em aquecedores. Contudo, esse simulador comporta ensaio em coletores de 1,4x2,1m, tendo área de até 2,94 m². Dessa forma, não possibilitando ensaio em coletores de maior porte, que estão surgindo no mercado, para atendimento em

uma faixa especial do segmento residencial e principalmente para o atendimento crescente do segmento industrial. Necessitando assim, de estruturas para ensaios em coletores de até 9 m² e reservatórios até 800 litros ofertados no mercado.

Como a construção de um simulador apropriado para os equipamentos desse porte, seria inviável em curto prazo, tanto pela questão de tempo, quanto pela financeira, considerando que a necessidade de ensaios já estão presentes atualmente, a solução seria a construção de uma bancada para ensaios Outdoor. Possibilitando assim, ao laboratório, a realização do ensaio de eficiência térmica nos aquecedores demandados.

3.1. ENSAIO DE EFICIÊNCIA TÉRMICA OUTDOOR

O ensaio de eficiência térmica tem como objetivo verificar quanto da energia emitida pelo sol, na forma de radiação, está sendo convertida em calor pelos coletores aquecendo a água. Os aquecedores apresentam faixas de conversão e eficiência. Ao realizar os ensaios é possível verificar se os coletores estão dentro das normas e valores de conversões aprovadas pelo INMETRO.

Para os ensaios Outdoor, segundo a ISO 9459-2 (1995), são necessárias algumas características para o ensaio externo de eficiência térmica em coletores. O coletor deve ser inspecionado visualmente e anotado qualquer dano presente. A cobertura do coletor deve ser limpa e em caso de umidade nas componentes deste, deve-se circular fluido a 80°C. Para o pré-acondicionamento, o coletor deve ser exposto ao sol por 5h em irradiação superior a 700 W/m². Estrutura de ensaio deve ser aberta e arejada com altura não inferior a 0,5m do chão. O ângulo de incidência pode variar no máximo $\pm 2\%$ do valor de incidência normal. Esse ângulo de incidência da irradiação direta na abertura do coletor, não deve ser mais que 20°. Caso a irradiação difusa seja inferior a 30%, então esta é desprezível, se a radiação difusa for superior a 30% o coletor não deve ser ensaiado. A velocidade média do ar paralelo a abertura do coletor deve ser de 3 m/s com variação de ± 1 m/s. A vazão média deve ser de 0,02 kg/s/m², com o valor de variação a cada ensaio de $\pm 1\%$, não variando mais $\pm 10\%$ de um ensaio para o outro (ABNT ISO 9459-2, 1995).

Para coleta de dados dos ensaios outdoor, segundo a ISO 9459-2 de 1995, devem ser obtidas 4 temperaturas de entrada do fluido, espaçadas sobre o intervalo de operação dos coletores, deve ser verificada a temperatura média de entrada do fluido do coletor esteja dentro de um variação de $\pm 3K$ do ambiente. E se o fluido de transferência for à água, temperatura máxima de pelo menos 80°C. Deve ser obtidos 4 pontos de dados independentes para cada temperatura de entrada para dar um total de 16 pontos de dados. Se possível, obter os dados antes e depois do meio dia solar (ABNT ISO 9459-2, 1995).

3.2. A BANCADA DE AQUECEDORES SOLARES

A bancada de ensaios Outdoor em aquecedores, atenderá a coletores planos até 9 m² e reservatórios até 800 litros. Porém, atenderá principalmente aos aquecedores acoplados de mesmas dimensões citadas. Projetada para esse tipo de aquecedor que apresenta uma maior dificuldade em ensaios em simuladores por serem um único sistema, sem possibilidade de ensaio de coletor e reservatório isolados.

A bancada será construída com perfis estruturais de alumínio 45x45mm, de forma a suportar até 1.000 kg, considerando o reservatório e coletores. Com possibilidade de fácil mobilidade e com variação do ângulo de inclinação de 10° à 30°, sendo o usual pela ISO 9459-2 de 1995, o ângulo de 20°. Contudo, possibilita a variação do ângulo de inclinação, dentro da faixa citada. Além disso, a bancada foi projetada com altura mínima do ponto mais baixo de suporte dos coletores, base da sapata, de 0,5 m do nível do chão conforme a norma. Sua representação estrutural e desenho do projeto, foram efetuados no software AutoCad, para uma maior precisão.

3.3. DIMENSÕES DA BANCADA DE AQUECEDORES SOLARES

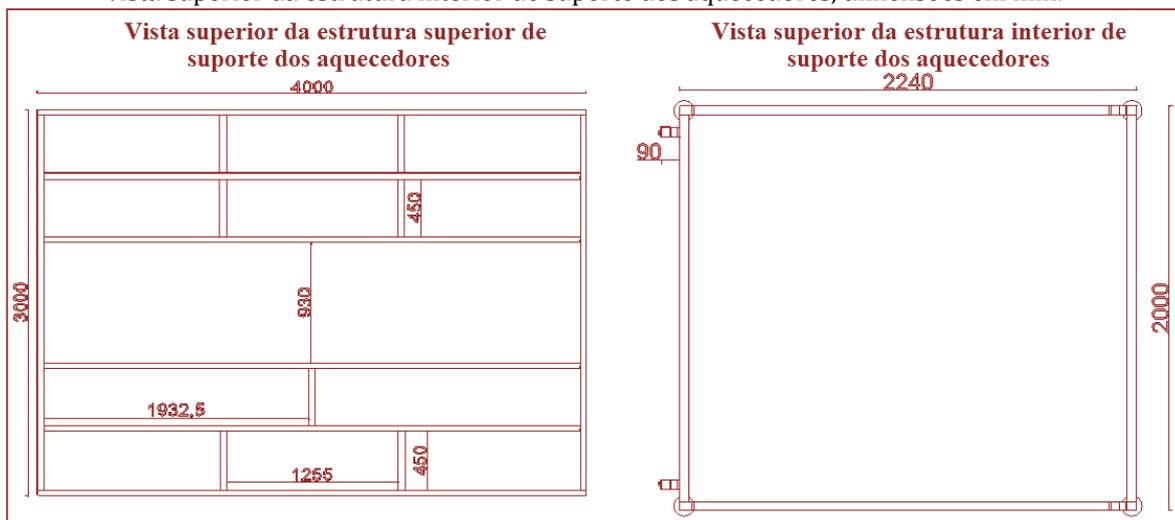
A bancada será composta por duas partes: a inferior que é à base da estrutura de suporte e a parte superior que serve de suporte para os aquecedores. A bancada será móvel, com possibilidade de mudança de uma região a outra, sendo sua parte inferior rígida. Porém, a parte superior possibilitará a variação do ângulo de inclinação dos coletores de 10° à 30°, adotando a ângulo nos ensaios de 20° pela norma.

A parte superior da bancada terá uma área de 12 m², com dimensões de 4x3m, como mostra a Fig. 9, contendo duas regiões. A região de suporte, onde se apoiará o reservatório, representa 2 m² da bancada e a região de suporte dos coletores será 10 m². Ao longo da bancada, há estruturas de fortificação, que servem

para estabilização e apoio dos coletores. Possibilitando assim, o ensaio desde coletores de 2 m² até coletores de 9 m². A região de apoio do reservatório será apropriada com um desnível em relação à superfície da estrutura, possibilitando o encaixe do reservatório de modo a fixá-lo.

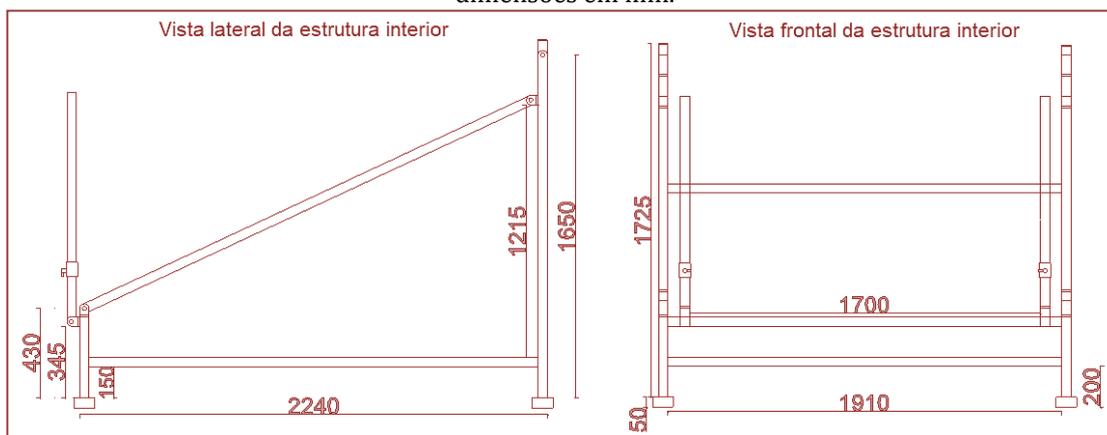
A parte inferior da bancada, serve de base para a estrutura superior de apoio dos aquecedores. Ela terá dimensões inferiores à estrutura superior, com 2,24x2 m, como mostra a Fig. 9. Em cada um dos 4 vértices, terá uma sapata de apoio, de 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura, para evitar que a bancada afunde no solo.

Figura 9 - Vista superior da estrutura superior de suporte dos aquecedores e vista superior da estrutura interior de suporte dos aquecedores, dimensões em mm.



Analisando a vista lateral e frontal da parte inferior da bancada, representada na Fig 10, a parte inferior da bancada terá uma altura traseira superior a 1,7 m e uma altura frontal de 0,48 m, tendo uma inclinação de até 30°. Caso a inclinação usada seja de 30°, a altura do coletor será superior a 0,5 m, valor mínimo de altura dos coletores exigida pela ISO 9459-2 de 1995.

Figura 10 - Vista lateral e vista frontal da estrutura interior de suporte dos aquecedores, dimensões em mm.

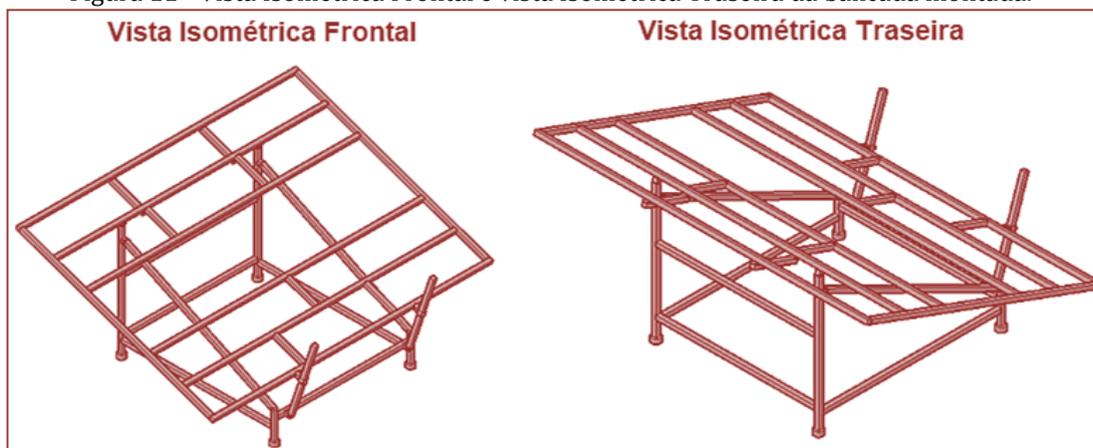


O controle da inclinação é possível pelas duas hastes frontais da bancada, conectadas a uma articulação cada, que se movimenta regulando a inclinação. Essa regulagem é permitida, levantando ou abaixando a estrutura superior de suporte dos aquecedores, que está conectada às hastes e escorre por elas, sendo possível essa regulagem para a inclinação que se queira entre 10° a 30°, pedindo a norma 20°.

3.4. REPRESENTAÇÕES ESTRUTURAIS DA BANCADA DE ENSAIO OUTDOOR

A bancada construída de perfil de alumínio 45x45mm será resistente às intempéries, suportando carga de até 1.000 kg e possibilitando a realização do ensaio de eficiência térmica. Assim, com as dimensões apresentadas, a bancada atenderá as normas da ISO 9459-2 de 1995. Para um melhor entendimento, as vistas isométricas frontal e traseira, representadas na Fig. 11, demonstram a bancada montada com as duas partes, inferior e superior.

Figura 11 - Vista Isométrica Frontal e vista Isométrica Traseira da bancada montada.



É possível verificar a junção das duas partes da bancada, a superior de suporte e a inferior que seria a base, a articulação de encaixe, a articulação de movimentação e ajuste da inclinação. Além disso, mostra a parte traseira na superfície da bancada, com desnível em relação à superfície, que serve de apoio e encaixe dos coletores.

3.5. MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DA BANCADA DE ENSAIO OUTDOOR

Para a construção da bancada é necessário alguns materiais específicos, para a montagem apropriada e melhor desempenho de sua finalidade. Na estrutura, deve ser usado perfil de alumínio 45x45 mm, sendo também aceito perfis parecidos, caso esse não esteja disponível. O perfil de alumínio é ideal devido ao seu menor peso, em relação aos outros metais e à sua resistência aos intemperes, que a bancada estará submetida. A utilização dos materiais apropriados é de suma importância, para a durabilidade e eficácia da bancada.

A união dos perfis de alumínio será feita com parafusos apropriados para este tipo de perfil, sendo necessário, para juntas com mobilidade de variação do ângulo de inclinação, o uso de articulações que possibilite o ajuste de inclinação ou do ângulo. Para a fixação das partes moveis que deslizam permitindo modificação da posição, necessita-se de Clamping Lever para fixar e liberar a variação da posição. Além disso, são necessários alguns outros materiais, como mostra a Tab. 1.

Tabela 1 - Materiais para construção da bancada de ensaios Outdoor

LISTA DE MATERIAIS PARA BANCADA DE ENSAIO OUTDOOR	
Descrição	Quantidade
Perfil de alumínio 45x45x5600mm	10
Parafuso Central S12x30-T50	50
Bloco correção M8	12
Cantoneira 45/90	12
Pés articulados	4
Articulação 45x45mm	8
Parafuso DIN 7984 M8x20	12
Clamping Lever GN300-63-M8-205W	2

4. CONSIDERAÇÕES

Espera-se que, com a construção da bancada, seja possível realizar-se os ensaios de eficiência térmica, segundo a ISO 9459-2 de 1995. Colaborando desta forma, para o crescimento do setor solar no Brasil. Setor esse, que está cada vez mais se expandindo e necessitando de fiscalização. A realização dos ensaios pela bancada, contribui para o laboratório do Green PUC Minas, no quesito tanto financeiro, quanto de conhecimento. Servindo para pesquisa, como para padronização dos fabricantes, que queiram verificar se seus equipamentos atendem ao padrão demandado pela ISO 9459-2 de 1995. Com relação à área de pesquisa, esses ensaios possibilitam verificar as propriedades e desempenhos dos materiais usados na construção dos equipamentos e do conjunto em si. Auxiliando, na descoberta de materiais mais eficientes, na criação de melhores equipamentos e também mais eficientes.

A execução dos ensaios contribui para que cada vez mais fabricantes que estão entrando nesse mercado crescente, possam certificar-se e adentra-se livremente no mercado, ofertando seus equipamentos. Assim, contribuindo para o crescimento do mercado e adoção da população para esse sistema renovável de aquecimento. Dessa forma, tem-se uma redução do consumo elétrico da localidade implantada, diminuindo sua dependência elétrica e seus gastos com a conta elétrica. Em larga escala, esse sistema contribui para o setor energético do país, aliviando-o. Como citado antes, segundo PAC (2015), espera-se que o país deixe de consumir cerca de 8.600 GWh da rede elétrica em 2050.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT ISO 9459-2, 1995. Aquecimento solar - Sistemas de aquecimento doméstico de água - Parte 2: Métodos de teste ao ar livre para caracterização do desempenho do sistema e previsão de desempenho anual de sistemas somente solar. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/17187.html?browse=tc>>. Acesso em: 11/02/2020.
- [2] ABRAVA, 2016. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: <<https://abrava.com.br/>>. Acesso em: 23/11/2019.
- [3] DUSOL, Engenharia Sustentável, 2018. Por que o aquecimento solar pode ser o primeiro passo para a independência energética?. Disponível em: <<https://www.dusolengenharia.com.br/>>. Acesso em: 15/11/2019.
- [4] GREEN PUC Minas, Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2017. Disponível em: <<https://ipuc.pucminas.br/green/>>. Acesso em: 23/11/2019.
- [5] IEA, Agência Internacional de Energia, 2015. Aquecimento Solar no Mundo – o mercado e sua contribuição para o suporte de energia.
- [6] INOVAÇÃO CRESCENTE, 2016. Portal Agua Quente. Disponível em: <<https://www.portalaguaquente.com.br/inovacao-crescente/>>. Acesso em: 23/11/2019.
- [7] IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2019. Disponível em: <<https://www.ipt.br/institucional>>. Acesso em: 23/11/2019.
- [8] PAC, Ministério do Planejamento, 2015. Aquecimento solar de água chegará a um quarto das residências brasileiras em 2050. Disponível em: <<https://www.pac.gov.br/noticia/754419ba>>. Acesso em: 16/11/2019.
- [9] PAC, Ministério do Planejamento, 2015. Sol aquece água de 224 mil moradias do MCMV. Disponível em: <<https://www.pac.gov.br/noticia/2084a54e>>. Acesso em: 16/11/2019.
- [10] PORTAL SOLAR, 2019. Sistema de Aquecimento Solar (Aquecedor Solar). Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-de-aquecimento-solar.html>>. Acesso em: 15/11/2019.
- [11] PORTARIA nº 301, de 14 de junho de 2012. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO.

[12] RODRIGUES, D., Faria, C. F. C., 2010. Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar, pp. 41-45.

[13] SCITEC, Soluções de Ensaio de Materiais e Produtos, 2019. Disponível em: <<http://scitec.com.br/>>. Acesso em: 23/11/2019.

[14] SOLIS, 2018. Inmetro obriga certificação de aquecedores solares. Disponível em:<<https://www.solis.ind.br/entra-em-vigor-norma-do-inmetro-que-obriga-certificacao-de-aquecedores-solares/>>. Acesso em: 16/11/2019.

Capítulo 19

Aplicação de técnicas de GLD em consumidor de BT: Tarifa branca e Geração Distribuída

Vitória Caroline Carvalho do Nascimento

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varela Guerra

Francisco José Sombra Júnior

Antonio Marcos Fernandes Filho

Resumo: O presente trabalho trata-se do estudo do impacto técnico e econômico da aplicação de técnicas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), considerando a implementação da modalidade tarifária horária branca e da Geração Distribuída (GD) solar fotovoltaica em consumidor residencial de Baixa Tensão (BT), com média de consumo mensal superior a 250 kWh. A tarifa branca visa incentivar a redução do consumo de energia elétrica no horário de maior carregamento do sistema, ou seja, no horário de ponta, e a GD solar fotovoltaica, por sua vez, permite o gerenciamento da energia por parte do consumidor. Dessa forma, a metodologia deste trabalho consiste na realização de simulações, por meio do *software* HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*), com combinações que consideram a aplicação das técnicas de GLD, deslocamento de carga e redução de pico, ambas visando a manipulação da carga no horário de ponta, em conjunto com a implementação da modalidade tarifária horária branca e, também, da GD solar fotovoltaica, cujo objetivo é analisar o impacto técnico e econômico para o consumidor residencial de BT, com classe de consumo mensal superior a 250 kWh. Os resultados obtidos através das simulações mostraram-se satisfatórios, sendo possível identificar claramente a simulação mais atrativa.

Palavras-chave: GLD, Tarifa branca, Geração distribuída.

1. INTRODUÇÃO

O interesse crescente pelo gerenciamento de energia elétrica justifica-se, essencialmente, devido à necessidade de atendimento de novos consumidores, às crises econômicas, à necessidade de preservação do meio ambiente e à presença maciça da tecnologia em atividades cotidianas (CUNHA; BERNADON; RAMOS, 2015). Dessa forma, a fim de reduzir os impactos da demanda crescente de energia, é necessária a determinação de medidas para elevar a eficiência da sua utilização.

Diante deste cenário apresenta-se o GLD, que trata-se do planejamento, implementação e monitoramento de ações que influenciam o consumo da energia elétrica pelos consumidores; de forma a produzir alterações desejadas nas suas respectivas curvas de carga (CAMPOS, 2004), por meio da combinação de novas tecnologias, mudanças de hábitos e técnicas que possibilitem o uso mais eficiente da energia. Dentre as técnicas de GLD destacam-se a conservação estratégica, o crescimento estratégico da carga, a curva de carga flexível, o deslocamento de carga, o preenchimento de vales e a redução do pico, também denominado de horário de ponta (CUNHA; BERNADON; RAMOS, 2015).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) possui resoluções normativas que incentivam a implementação de tarifas horárias com o intuito de estimular os consumidores de BT a reduzirem o consumo no horário de maior carregamento do sistema, bem como da GD, que, por sua vez, permite ao consumidor de BT o gerenciamento da energia elétrica consumida.

Em 2011, a ANEEL aprovou a mudança da estrutura tarifária do segmento de distribuição de energia elétrica, adotando a modalidade tarifária branca (ANEEL, 2018), através da qual são estabelecidas tarifas distintas para o consumo, considerando estimativas dos custos para o fornecimento de energia. Em 17 de abril de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, a qual define que o consumidor pode gerar a sua própria energia elétrica, a partir de fontes renováveis ou de cogeração qualificada, e, ainda, fornecer o excedente para a rede elétrica de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2015). Esta resolução fornece as condições de acesso à microgeração e à minigeração distribuída, com a criação do sistema de compensação de energia elétrica, estabelecendo as regras sobre o sistema de compensação de energia elétrica.

Dessa forma, a problemática deste trabalho consiste em avaliar a viabilidade técnica e econômica quanto à utilização das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico, assim como a utilização de GD solar fotovoltaica para um consumidor BT com consumo mensal superior a 250 kWh. Para isso, será utilizado o *software* HOMER, através do qual serão realizadas as simulações, considerando a modalidade de tarifa convencional, a tarifa horária branca e a curva de carga estimada do consumidor analisado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

O programa de GLD consiste no planejamento, implementação e monitoramento de ações que influenciam o consumo da energia elétrica, de forma a modelar a curva de carga do consumidor (SILVA; AFFONSO, 2015). A implantação de cada alternativa resulta no uso eficiente dos recursos e, conseqüentemente, na redução dos custos para a empresa distribuidora de energia elétrica (investimentos para a oferta de energia elétrica) e, também, para o consumidor (fatura de energia elétrica).

As técnicas de GLD tratam-se de ações que englobam o gerenciamento da carga e a conservação estratégica da energia elétrica. De modo geral, são atividades planejadas pelas empresas para motivar ações dos consumidores visando os objetivos propostos por um programa de GLD, como adequar o consumo, minimizando os impactos negativos ambientais e sociais, sem acarretar prejuízo à estabilidade econômica e financeira das empresas, e mantendo a confiabilidade do suprimento de energia elétrica (CAMARGO; TEIVE, 2006).

Estas atividades devem abordar o programa de GLD com o objetivo de reconfigurar a curva de carga das UCs, principalmente, no que se refere à redução da carga de pico (ANEEL², 2016), a fim de provocar uma utilização mais eficiente do sistema elétrico. Assim, pode-se amortecer ou adiar investimentos em ampliações ou reforços das redes de transmissão de energia elétrica, promovendo a gestão elétrica com modificações na curva de carga dos consumidores.

2.1.1. ESTRATÉGIAS DE GERENCIAMENTO DE CARGA

As estratégias de gerenciamento de carga visam moldar a curva de carga do consumidor. Dentre elas destacam-se a conservação estratégica, o crescimento estratégico da carga, a curva de carga flexível, o deslocamento de carga, o preenchimento de vales e a redução do pico (CUNHA; BERNADON; RAMOS, 2015). Diante destas técnicas de GLD, foram definidas duas delas para implementação neste trabalho, a saber, a técnica de deslocamento de carga (ou mudança de carga) e a técnica de redução de pico, ambas visando a manipulação da carga no horário de ponta.

A técnica de deslocamento refere-se ao deslocamento da carga do horário de ponta para o horário fora de ponta. A técnica de redução do pico, por sua vez, é definida como a redução da carga de ponta, conseguida, geralmente, através do controle direto, pela empresa de energia, de um aparelho de uso final (CAMPOS, 2004).

Dessa forma, com a implementação de ambas as técnicas de GLD – deslocamento de carga e redução de pico – será possível estabelecer uma análise comparativa da tarifa convencional em relação à adesão da UC (Unidade Consumidora) à tarifa horária branca, a qual permite o deslocamento de carga e a redução de pico, em virtude da variação da tarifa de acordo com o dia e horário do consumo de energia elétrica.

2.1.2. ALTERNATIVAS DE GLD

Dentre as alternativas de GLD destacam-se o controle de equipamentos de uso final, o armazenamento de energia, os incentivos tarifários, a GD, a promoção de GLD junto ao consumidor e a melhoria da performance de equipamentos e dos sistemas elétricos (equipamentos e sistemas mais eficientes) (CAMPOS, 2004).

Diante dessas alternativas, definiu-se para o desenvolvimento deste trabalho a aplicação de incentivos tarifários, que proporciona o direcionamento econômico e a motivação; juntamente com a implementação da GD, que permite o gerenciamento da energia elétrica consumida; e a promoção de GLD junto ao consumidor, para a manipulação da curva de carga da UC.

2.2. TARIFA HORÁRIA BRANCA

A tarifa horária branca trata-se de uma modalidade de caráter opcional para os consumidores do Grupo B, exceto para a iluminação pública e para a subclasse baixa renda (ANEEL, 2018); proposta com o objetivo de estimular o gerenciamento de energia pelos consumidores de BT nos horários de maior carregamento do sistema, para que ocorra um deslocamento do consumo de energia para os horários de menor utilização da rede elétrica da distribuidora, de forma a permitir a postergação de investimentos na expansão da rede para o atendimento de novos consumidores.

A Resolução Normativa nº 733/2016, da ANEEL, estabelece as condições para adesão à modalidade tarifária branca, tratando, inclusive, das faixas de consumo mínimo para a possibilidade de solicitação de adesão à tarifa, baseado no período estabelecido para cada média anual de consumo mensal da UC (ANEEL¹, 2016), conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Condições para adesão à tarifa horária branca.

Faixa de consumo	Data mínima para adesão
> 500 kWh	01/01/2018
> 250 kWh	01/01/2019
Qualquer valor	01/01/2020

Fonte: Adaptado de ANEEL¹, 2016.

Esta modalidade tarifária é caracterizada pela consideração dos diferentes dias (dias úteis, finais de semana e feriados nacionais) e, ainda, dos diferentes períodos ao decorrer do dia; sendo o horário de ponta caracterizado pelo período de maior carregamento do sistema elétrico, cujo valor da tarifa (em R\$/kWh) é mais alto (ANEEL¹, 2016). Na modalidade tarifária convencional, por outro lado, a energia elétrica consumida é cobrada por meio de uma tarifa única (em R\$/kWh), ou seja, mantém-se igual em todos os dias e horários.

Nos dias úteis (segunda-feira a sexta-feira), o valor cobrado na modalidade tarifária horária branca varia em três horários do dia: ponta, intermediário e fora de ponta, com respectivas tarifas de energia elétrica; já nos feriados nacionais e nos finais de semana, o valor cobrado pela tarifa de energia elétrica é o valor

especificado para o período fora de ponta ou, ainda, pode ser definido baseado no valor cobrado para os dias úteis, a depender das especificações da concessionária de energia elétrica (SILVA; AFFONSO, 2015).

O horário de ponta é compreendido por três horas consecutivas diárias, onde há o maior consumo de energia elétrica. O período intermediário corresponde a hora imediatamente anterior e posterior ao horário de ponta. E o período fora de ponta, por sua vez, refere-se às demais horas do dia (CUNHA; BERNADON; RAMOS, 2015). A Tabela 2 apresenta os horários e tarifas, de acordo com a concessionária de energia elétrica local, COSERN (Companhia Energética do Rio Grande do Norte), respectivos a cada período considerado na tarifa horária branca e, também, na tarifa convencional.

Tabela 2: Características das tarifas branca e convencional.

Tarifa Horária Branca		
Período	Horário (h)	Tarifa (R\$/kWh)
Fora de ponta	21:30 às 16:29	0,5360
Intermediário I	16:30 às 17:29	0,8498
Ponta	17:30 às 20:29	1,3583
Intermediário II	20:30 às 21:29	0,8498
Tarifa Convencional		
Período	Horário (h)	Tarifa (R\$/kWh)
Integral	00:00 às 23:59	0,6367

Nota: Dados fornecidos pela COSERN para UC residencial (Grupo B1), com consumo de 61 a 300 kWh/mês, baseado no mês de julho de 2018.

Fonte: Adaptado de COSERN, 2018.

2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O SEP (Sistema Elétrico de Potência) tradicional é caracterizado pelo fluxo de energia unidirecional, onde as cargas são agentes passivos no sistema de produção de energia elétrica (CGEE, 2012). Por outro lado, a *Smart Grid* (Rede Inteligente) é caracterizada pelo incentivo à participação do usuário no uso eficiente da energia. Esta permite que todos os aparelhos conectados à rede sejam monitorados pelo consumidor, de modo que este possa realizar ações mais eficientes quanto ao uso desses dispositivos (ABOBOREIRA; CRUZ, 2016).

A maior eficiência e controle do fluxo de energia, oferecido pelas *Smart Grids*, proporcionam muitos benefícios para consumidores, concessionárias de energia elétrica e para o próprio sistema elétrico. Dentre eles, este modelo de rede elétrica permite a viabilidade da oferta de tarifas dinâmicas (horárias) para os consumidores de BT, e, além disso, proporciona uma maior inserção de fontes de microgeração, estimulando a GD (ABOBOREIRA; CRUZ, 2016).

No Brasil, a GD foi regulamentada pela Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, em 17 de abril de 2012, na qual são estabelecidas as condições gerais para o acesso à microgeração e à minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Em 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, onde houve uma revisão da Resolução Normativa nº 482/2012, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da microgeração e da minigeração, compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento, aumentar o público-alvo e melhorar as informações na fatura (ANEEL, 2015).

Essas resoluções normativas incentivam a implementação da GD, de forma que esses estímulos se justificam diante dos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles estão: o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes elétricas, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética nacional.

No presente trabalho será considerada como GD a fonte de energia solar fotovoltaica. Tal escolha justifica-se devido ao destaque no crescimento acentuado da utilização desta fonte em sistemas de GD no Brasil. Em 2017, a GD atingiu 359,1 GWh e potência instalada de 246,1 MW, com destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 53,6 GWh e 174,5 MW de geração e de potência instalada, respectivamente (EPE, 2018).

2.3.1. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

O sistema solar fotovoltaico *on grid*, denominado também de SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede), é caracterizado por estar integrado à rede de distribuição de energia elétrica da concessionária. Diferentemente dos sistemas *off grid* (isolados ou autônomos) que atendem uma UC específica, os SFCRs são capazes de injetar a energia elétrica gerada na rede elétrica da concessionária, que, por sua vez, pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede (FERNANDES; PEREIRA; MATTOS JÚNIOR, 2017).

Dessa forma, a implementação de SFCRs deve ser regulamentada pelos órgãos responsáveis – no Brasil, este órgão regulamentador é a ANEEL –, uma vez que são conectados à rede de distribuição de energia elétrica das concessionárias para a distribuição da energia elétrica gerada (ABOBOREIRA; CRUZ, 2016).

Este sistema é constituído por painéis fotovoltaicos (onde há a geração de energia elétrica em corrente contínua), inversor CC/CA (converte a energia gerada em corrente contínua para corrente alternada, com frequência e tensão compatível com os valores da rede elétrica), cabeamento, proteções CC e CA, e o medidor de energia (HOMER ENERGY, 2018).

3. METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia proposta neste trabalho para o gerenciamento do consumo de energia de uma UC residencial. Os casos estudados foram divididos em dois cenários, onde um deles considera a GD solar fotovoltaica e o outro não. Dentro de cada cenário foram realizadas simulações, combinando a tarifa convencional e a tarifa horária branca, com a implementação das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico. Ao todo, foram realizadas cinco simulações. E, diante destas simulações, será realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos, para que, dessa forma, seja verificada a simulação com maior viabilidade técnica e econômica.

3.1. SOFTWARE HOMER

Foi utilizado o *software* HOMER para a definição da melhor alternativa, ou seja, que identifica o sistema de menor custo capaz de suprir a demanda de energia elétrica do consumidor em estudo. O *software* permite definir os parâmetros de cada equipamento, bem como os seus recursos primários de energia, restrições, entre outros fatores (HOMER ENERGY, 2018).

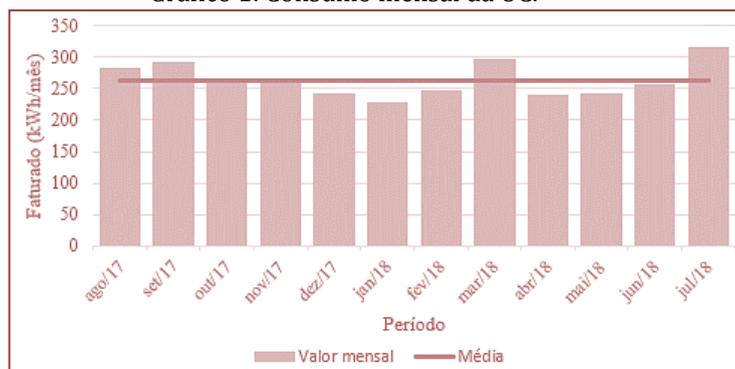
O HOMER é um modelo de otimização de sistemas híbridos de energia, desenvolvido com o objetivo de prever a configuração de sistemas descentralizados, avaliando várias alternativas na busca pela melhor solução (CAMARGO; TEIVE, 2006). Basicamente, tem como objetivo identificar o sistema de menor custo, capaz de suprir a demanda de energia de uma determinada carga.

Este *software* simula a operação do sistema em estudo, calculando o balanço energético anual, de forma que, para cada hora, realiza a comparação da demanda de energia elétrica e a capacidade do sistema em fornecer energia elétrica na dada hora, definindo como será a operação do(s) sistema(s) gerador(es). O sistema de cálculo dos custos engloba os custos de investimento, reposição dos equipamentos, combustível e os custos com operação e manutenção do sistema. Após a simulação de todas as possíveis configurações definidas, é fornecida uma lista de configurações classificadas de acordo com o custo total em valor presente e com o custo específico da energia (SANTOS, 2014).

3.2. UNIDADE CONSUMIDORA

A UC em estudo está localizada na cidade de Mossoró–RN. O cliente está enquadrado no grupo monofásico B1 residencial, atendido pela rede de tensão secundária, com ligação monofásica e com média anual de consumo mensal de 263 kWh, conforme indicado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Consumo mensal da UC.



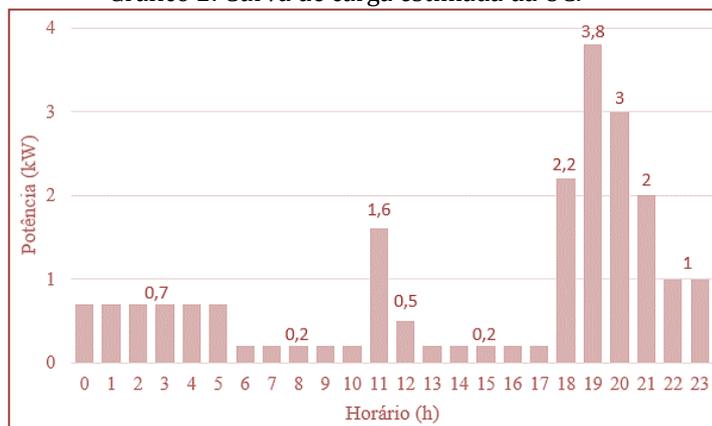
Fonte: Adaptado de HOMER ENERGY LLC, 2017.

Ainda que a Resolução Normativa nº 733/2016, da ANEEL, estabeleça que apenas a partir de 01 de janeiro de 2019, UCs com média anual de consumo mensal superior a 250 kWh tenham a possibilidade de solicitar a adesão à tarifa branca; a escolha desta UC justifica-se diante do estudo da viabilidade técnica e econômica de um caso real de consumidor com consumo mensal inferior ao valor mínimo estabelecido para o ano de 2018 (500 kWh), quanto à possível adesão da modalidade tarifária horária branca, à aplicação das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico e, também, à implementação da GD solar fotovoltaica.

3.2.1. CURVA DE CARGA

Para a realização das simulações, inicialmente, foi feito um levantamento de dados da UC, dentre eles o levantamento de cargas. A curva de carga do perfil residencial fornecida pelo *software* HOMER é indicada no Gráfico 2.

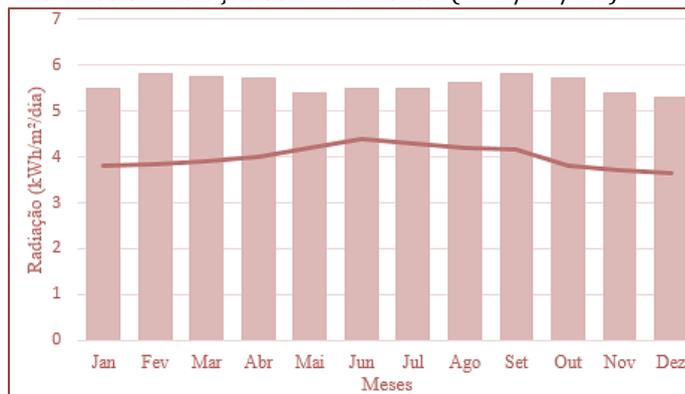
Gráfico 2: Curva de carga estimada da UC.



Fonte: Adaptado de HOMER ENERGY LLC, 2017.

3.2.2. RADIAÇÃO SOLAR LOCAL

Os dados da radiação solar local também foram obtidos através do HOMER, conforme indicado no Gráfico 3, onde este *software* fornece o valor médio mensal deste parâmetro, conhecidas a latitude e a longitude do local de interesse.

Gráfico 3: Radiação solar horizontal (kWh/m²/dia).

Fonte: Adaptado de HOMER ENERGY LLC, 2017.

3.3. PROCEDIMENTOS

Inicialmente foi feita a seleção dos componentes a serem implementados na simulação do sistema em estudo, cujo diagrama é apresentado na Figura 1, composto pela rede elétrica, carga, conversor (inversor CC/CA) e painéis fotovoltaicos.

Figura 1: Diagrama do sistema em estudo.



Fonte: HOMER ENERGY LLC, 2017.

Após a identificação dos componentes utilizados, como mostra a Figura 1, o programa delimita quatro classes de entrada: tarifas de energia da rede elétrica (rede elétrica), curvas de carga (residência), recursos renováveis e tecnologias de geração distribuída (conversor e painéis fotovoltaicos). Sendo assim, os itens 3.4 e 3.5 deste trabalho tratarão, respectivamente, do painel solar fotovoltaico e do inversor CC/CA selecionados para constituir o sistema de GD solar implementado nas simulações.

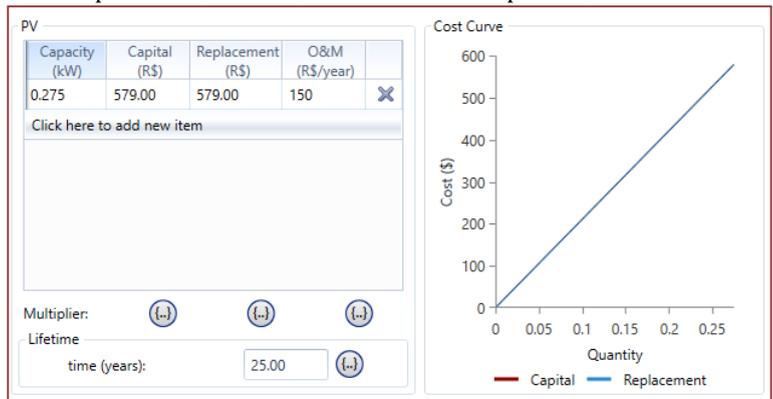
3.4. PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Para a seleção do modelo do painel fotovoltaico a ser utilizado no sistema, realizou-se uma pesquisa no INMETRO das principais marcas e modelos de painéis fotovoltaicos com selo PROCEL, indicando a sua eficiência de conversão de energia solar em energia elétrica.

Dentre os modelos de painéis fotovoltaicos avaliados, o painel modelo CS6K-27 da *Canadian Solar* apresentou a melhor relação entre o custo e a potência máxima do painel, e, também, uma maior eficiência, sendo, portanto, selecionado para constituir o arranjo do sistema de geração da UC. Definido o modelo CS6K-275, este foi utilizado para a simulação do sistema de geração de energia elétrica da UC. Este modelo possui a potência de 275 W_p, eficiência de 16,8%, 25 anos de vida útil (CANADIAN SOLAR¹, 2017) e custo de R\$ 579,00 (MINHA CASA SOLAR¹, 2018).

Por meio do HOMER foi possível realizar a modelagem do painel fotovoltaico, conforme apresentado na Figura 2, através do cadastro das suas propriedades técnicas e econômicas. Nas simulações considerou-se uma quantidade de até 8 painéis, para que, dessa forma, houvesse a definição, pelo *software*, da quantidade adequada.

Figura 2: Propriedades técnicas e econômicas do painel solar fotovoltaico.



Nota: A sigla O&M significa operação e manutenção (*operation and maintenance*).
 Fonte: HOMER ENERGY LLC, 2017.

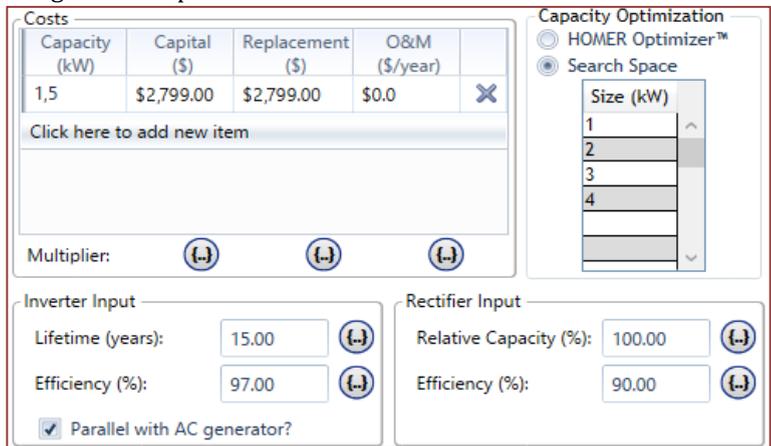
3.5. INVERSOR CC/CA

Analogamente, para determinar o inversor a ser utilizado, foi realizada uma pesquisa no INMETRO das principais marcas e modelos de inversores utilizados em SFCR. Além disso, o inversor selecionado para constituir o sistema deve suportar a corrente do arranjo dos painéis e a tensão de entrada do sistema, bem como possuir potência compatível com a potência total do arranjo.

Dentre os modelos analisados, optou-se pelo inversor modelo CSI-1.5K-TL da *Canadian Solar*, por apresentar relação custo por capacidade satisfatória, além de atender as características de tensão, corrente e potência fornecidas pelo arranjo de painéis. Este modelo possui potência nominal de 1,5 kW, apresenta 15 anos de vida útil (CANADIAN SOLAR², 2017) e custo de R\$ 2.799,00 (MINHA CASA SOLAR², 2018). Vale-se ressaltar que na data de verificação do preço dos equipamentos (10 de agosto de 2018), a cotação do dólar estava em R\$ 3,8466 (SUPER CÂMBIO, 2018).

Através do *software* HOMER tornou-se possível a realização da modelagem do inversor, conforme é apresentado na Figura 3, através do cadastro das suas propriedades técnicas e econômicas. Nas simulações considerou-se uma quantidade de até 4 inversores, para que, dessa forma, houvesse a definição, pelo *software*, da quantidade adequada.

Figura 3: Propriedades técnicas e econômicas do inversor.



Fonte: HOMER ENERGY LLC, 2017.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme supramencionado, neste trabalho foi realizado o estudo de caso considerando a implementação de técnicas de GLD, diferentes modalidades tarifárias e a inserção de GD solar fotovoltaica em uma UC enquadrada no grupo monofásico B1, com média anual de consumo mensal superior a 250 kW/h; por meio da utilização do *software* HOMER.

Através do *software*, foram realizadas, ao todo, cinco simulações, conforme mostrado no Quadro 1, diante das informações fornecidas (valores de tarifas, localização da unidade, equipamentos, dentre outras), e apresentados os resultados respectivos à cada simulação. Dessa forma, sendo possível eleger a opção mais viável e, portanto, mais vantajosa para o caso em estudo.

Quadro 1: Simulações realizadas no *software* HOMER.

Simulações	Descrição
A	Análise com tarifa convencional
B	Análise com adesão à tarifa horária branca
C	Análise com adesão à tarifa horária branca e técnicas de GLD
D	Análise da implementação da GD solar, com tarifa convencional
E	Análise da implementação da GD solar com adesão à tarifa horária branca e técnicas de GLD

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

4.1. ANÁLISE COM TARIFA CONVENCIONAL

Inicialmente, foi realizada a simulação considerando a situação atual da UC, ou seja, considerando apenas que a UC está enquadrada na modalidade tarifária convencional. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nesta primeira simulação.

Tabela 3: Simulação da UC com tarifa convencional.

Arquitetura		Custo		
Rede (kW)	Capital inicial (R\$)	Custo de op. (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
1000	0	564	11.548	0,476
Rede elétrica				
Energia comprada (kWh)		Energia vendida (kWh)		
7,224		0		

Nota: As siglas NPC e COE, significam, respectivamente, custo atual líquido (*net presente cost*) e custo de energia (*cost of energy*). O NPC representa a diferença entre o valor respectivo a todos os custos do sistema (custo de capital, de substituição, de compra de energia da rede, entre outros) e o valor total da receita gerada ao longo da vida útil; enquanto o COE representa o custo médio por kWh de energia elétrica útil produzida pelo sistema (HOMER ENERGY, 2016).

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Uma vez que esta simulação considerou a situação atual da UC, ou seja, apenas com a modalidade tarifária convencional, não houve, portanto, exigência de investimentos iniciais, por isso, o capital inicial é nulo. Os valores de custo de operação anual (R\$ 564/ano), NPC (R\$ 11.548) e COE (R\$ 0,476) obtidos nesta simulação são indicados na Tabela 3.

4.2. ANÁLISE COM ADESÃO À TARIFA HORÁRIA BRANCA

A segunda simulação considerou a situação em que a UC adere à modalidade tarifária horária branca, mantendo o mesmo perfil da curva de carga. A Tabela 4 apresenta os resultados desta segunda simulação.

Tabela 4: Simulação da UC com adesão à tarifa horária branca.

Arquitetura		Custo		
Rede (kW)	Capital inicial (R\$)	Custo de op. (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
1000	0	612	13.304	0,581
Rede elétrica				
Energia comprada (kWh)		Energia vendida (kWh)		
7,224		0		

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Dado que esta simulação considerou apenas a adesão à tarifa horária branca também não houve a exigência de investimentos iniciais, por isso, o capital inicial mantém-se nulo. Os valores de custo de operação anual (R\$ 612/ano), NPC (R\$ 13.304) e COE (R\$ 0,581) obtidos nesta simulação são apresentados na Tabela 4.

Comparando as simulações A e B, considerando a UC com modalidade tarifária convencional (*vide* Tabela 3) e a adesão à modalidade tarifária horária branca (*vide* Tabela 4), respectivamente, nota-se que mantendo-se o mesmo perfil de consumo, torna-se mais viável que a UC mantenha-se na modalidade tarifária convencional, uma vez que a segunda simulação apresentou custo de operação, NPC e COE superiores, quando comparados aos obtidos na simulação A.

4.3. ANÁLISE COM ADESÃO À TARIFA HORÁRIA BRANCA E TÉCNICAS DE GLD

Nesta simulação foi considerada a implementação das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico, em conjunto com a alteração da modalidade tarifária da UC para a tarifa horária branca. Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos nesta simulação.

Tabela 5: Simulação da UC com adesão à tarifa horária branca e implementação de técnicas de GLD.

Arquitetura		Custo		
Rede (kW)	Capital inicial (R\$)	Custo de op. (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
1000	0	558	10.927	0,413
Rede elétrica				
Energia comprada (kWh)		Energia vendida (kWh)		
7,224		0		

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Através da análise comparativa entre as três simulações realizadas, indicadas na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, é possível constatar que a implementação das técnicas de GLD permitiu a obtenção de melhores resultados, isto é, maior viabilidade à adesão da tarifa horária branca, uma vez que admite alterações na curva de carga da UC e, conseqüentemente, melhor adequação à adesão a uma modalidade tarifária horária.

Diante da comparação entre as três simulações iniciais, verifica-se que esta apresentou-se como a mais atrativa, devido proporcionar menores valores de custo de operação anual (R\$ 558/ano), NPC (R\$ 10.927) e COE (R\$ 0,413), quando comparada às simulações A e B.

4.4. ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA GD SOLAR, COM TARIFA CONVENCIONAL

Esta simulação considerou a situação da implementação da GD solar fotovoltaica na UC, mantendo a modalidade tarifária convencional. A Tabela 6 apresenta os resultados da implementação desta simulação.

Tabela 6: Simulação da UC com implementação da GD solar fotovoltaica, com tarifa convencional.

Arquitetura			Custo			
Rede (kW)	Painéis (kW)	Conv. (kW)	Cap. inicial (R\$)	Custo de op. (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
1000	1,65	1,5	6.273	1.813	16.431	0,473
Painéis		Rede elétrica				
Custo (R\$)		Prod. (kWh/ano)		Energia comp. (kWh)		
3.474		2.743		6,433		

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Por meio da simulação mostrada na Tabela 6, foi possível constatar que a implementação da GD solar fotovoltaica exige o investimento inicial da aquisição do sistema fotovoltaico (R\$ 6.273), diferentemente das simulações A (Tabela 3), B (Tabela 4) e C (Tabela 5), que abordam a mudança da modalidade tarifária e a implementação de técnicas de GLD. Nesta simulação é possível verificar a obtenção de um maior custo de operação anual (R\$ 1.813/ano) e de NPC (R\$ 16.431), devido à aquisição e à operação do sistema fotovoltaico; com a vantagem de um valor de COE (0,473) inferior, quando comparado aos respectivos valores obtidos nas simulações A e B.

4.5. ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DA GD SOLAR, COM ADESÃO À TARIFA HORÁRIA BRANCA E TÉCNICAS DE GLD

Nesta última simulação foi considerada a implementação das técnicas de GLD, a saber deslocamento de carga e redução de pico, em conjunto com a alteração da modalidade tarifária da UC para a tarifa horária branca, e com a implementação da GD solar fotovoltaica. Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos nesta simulação.

Tabela 7: Simulação da UC com implementação da GD solar fotovoltaica, com tarifa horária branca e aplicação de técnicas de GLD.

Arquitetura			Custo			
Rede (kW)	Painéis (kW)	Conv. (kW)	Cap. inicial (R\$)	Custo de op. (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
1000	1,65	1,5	6.273	1.023	13.946	0,393
Painéis		Rede elétrica				
Custo (R\$)		Prod. (kWh/ano)		Energia comp. (kWh)		
3.474		2.743		6,433		

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Conforme já mencionado, o consumo médio mensal da energia elétrica da UC é de 263 kWh, enquanto a geração média mensal de um painel fotovoltaico do modelo selecionado é de 38,91 kWh. Desse modo, desconsiderando o custo de disponibilidade (valor mínimo cobrado mensalmente pela concessionária devido à disponibilidade de energia elétrica. Para UCs do grupo B1 residencial monofásico, esse valor corresponde a 30 kWh/mês (ANEEL, 2010)), a partir da geração de um painel, estimou-se – através do *software* HOMER – a necessidade de 6 painéis fotovoltaicos para constituir o sistema fotovoltaico, que resultam em uma geração mensal média de 233,46 kWh. Portanto, a potência total do arranjo do sistema é de 1,65 kW_p, uma vez que a potência nominal do modelo selecionado é de 275 W_p.

Esta simulação mostrou-se como a mais atrativa dentre as cinco simulações realizadas devido ao fato de aliar os benefícios observados nas simulações C e D. Dessa forma, é possível verificar que a implementação das técnicas de GLD permitiu a maior viabilidade à adesão da tarifa horária branca; e, juntamente com a implementação da GD solar fotovoltaica – apesar de exigir o investimento inicial da aquisição do sistema fotovoltaico (R\$ 6.273) –, apresentou menores valores de custo de operação anual (R\$ 1.023/ano) e NPC (R\$ 13.946), quando comparada à simulação D; e o menor valor de COE (R\$ 0,393), quando comparada às demais simulações, o que indica a sua maior viabilidade a longo prazo.

4.6. ANÁLISE COMPARATIVA DAS SIMULAÇÕES

Diante de todas as simulações realizadas por meio do *software* HOMER, com as combinações que consideram a aplicação das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico, em conjunto com a implementação da modalidade tarifária horária branca e, também, da GD solar fotovoltaica, pôde-se analisar o impacto técnico e econômico para o consumidor residencial de BT, com classe de consumo mensal superior a 250 kW/h. A Tabela 8 apresenta um resumo comparativo dos resultados econômicos obtidos.

Tabela 8: Comparativo das simulações.

Simulações	Capital inicial (R\$)	Custo		
		Custo de operação (R\$/ano)	NPC (R\$)	COE (R\$)
A	0	564	11.548	0,476
B	0	612	13.304	0,581
C	0	558	10.927	0,413
D	6.273	1.813	16.431	0,473
E	6.273	1.023	13.946	0,393

Fonte: NASCIMENTO, 2018.

Por meio da análise da Tabela 8, pode-se constatar que a simulação com maior viabilidade econômica e técnica, a longo prazo, foi a simulação da UC com implementação da GD solar, adesão à tarifa horária branca e técnicas de GLD (simulação E, mostrada na Tabela 7); uma vez que, apesar do investimento inicial requerido pelo sistema fotovoltaico, apresenta o menor valor de COE, indicando a sua maior viabilidade a longo prazo. E, além disso, quando comparada à simulação D também apresenta menores valores de custo de operação e de NPC.

Dessa forma, a simulação E alia os benefícios observados na simulação C (proporcionados pela implementação das técnicas de GLD e pela adesão à modalidade tarifária horária branca) e na simulação D (proporcionados pela GD solar fotovoltaica, como a geração de eletricidade por meio de uma fonte limpa e, ainda, a redução do valor do COE).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs um estudo do impacto, técnico e econômico, da implementação das técnicas de GLD deslocamento de carga e redução de pico, e da GD solar fotovoltaica, em conjunto com a adesão à modalidade tarifária horária branca em um consumidor residencial de BT, com classe de consumo mensal superior a 250 kW/h na cidade de Mossoró-RN.

Os resultados obtidos através das simulações realizadas no *software* HOMER foram bastante satisfatórios. Através das simulações A e B verificou-se o impacto negativo que a tarifa branca pode exercer sobre o consumidor que não realiza o gerenciamento do seu consumo (especialmente na simulação B). Dessa forma, em casos em que o gerenciamento do consumo é impraticável, a adesão à tarifa horária branca pode ocasionar um aumento indesejável na fatura de energia elétrica; sendo mais indicado, portanto, permanecer na tarifa convencional.

A simulação C, por sua vez, explicitou que a implementação das técnicas de GLD permitiu uma maior viabilidade à adesão da tarifa horária branca, uma vez que admite alterações na curva de carga da UC e, conseqüentemente, melhor adequação à adesão a uma modalidade tarifária horária. Nesta análise, o consumo de energia elétrica da UC foi deslocado do período de ponta para o período fora de ponta e, com isso, verificou-se uma tendência de economia na fatura de energia elétrica.

Dessa forma, pôde-se verificar que a maior viabilidade foi obtida na simulação que considerou a implementação da GD solar fotovoltaica e das técnicas de GLD e, ainda, a adesão à tarifa horária branca (simulação E); uma vez que aliou os benefícios observados nas simulações C e D, e, também, apresenta uma maior tendência de economia a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- [1] ABOBOREIRA, Felipe Luz; CRUZ, Antônia Ferreira dos Santos. Importância da *Smart Grid* na Rede Elétrica de Distribuição Brasileira. UNIFACS, Salvador, 2016.
- [2] ANEEL. Resolução Normativa N° 414: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma Atualizada e Consolidada. 2010.
- [3] ANEEL¹. Resolução Normativa N° 733: Condições para a Aplicação da Modalidade Tarifária Horária Branca. 2016.
- [4] ANEEL. Resolução Normativa N° 687: Microgeração e Minigeração Distribuída aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. 2015.
- [5] ANEEL². Resolução Normativa N° 725: Requisitos Mínimos para Conceder Descontos Voluntários sobre as Tarifas de Energia Elétrica. 2016.
- [6] ANEEL. Tarifa Branca. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 05 jun. 2018.
- [7] CAMARGO, C. C. D. B.; TEIVE, R. C. G. Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Políticas de Conservação de Energia. UNIVALI, Florianópolis, 2006.
- [8] CAMPOS, Alexandre de. Gerenciamento pelo Lado da Demanda: Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, USP, São Paulo, 2004.
- [9] CANADIAN SOLAR¹. Catálogo: Paineis Fotovoltaicos CS6K-260|265|270|275 P. São Paulo, 2017.
- [10] CANADIAN SOLAR². Manual: Inversor de *String* Monofásico CSI-1.5KTL|CSI-3KTL. São Paulo, 2017.
- [11] CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). Redes Elétricas Inteligentes: Contexto Nacional. Brasília, 2012.
- [12] COSERN (RN). Tarifas: Grupo B. 2018. Disponível em: <https://servicos.cosern.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/tarifas-grupo-b.aspx>. Acesso em: 10 ago. 18.
- [13] CUNHA, Murilo V. da; BERNARDON, Daniel P.; RAMOS, Diego B. Técnicas de GLD Aplicadas ao Consumidor de BT Considerando a Tarifa Branca e a Geração Distribuída. UFSM, Santa Maria, 2015.
- [14] EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional: Ano Base 2017. Rio de Janeiro, 2018.
- [15] FERNANDES, Angel de Souza; PEREIRA, Lucas Junio de Souza; MATTOS JÚNIOR, Pedro Alcântara de. Implantação do Sistema de Energia Fotovoltaica *On Grid* para Programa Minha Casa Minha Vida. São Paulo, 2017.
- [16] HOMER ENERGY (Estados Unidos). *Software Homer Pro*. 2018. Disponível em: <https://www.homerenergy.com/products/index.html>. Acesso em: 04 jun. 2018.
- [17] HOMER ENERGY LLC. HOMER Pro. Versão 3.11. Estados Unidos: HOMER Energy LLC, 2017. Disponível em: <https://www.homerenergy.com/>. Acesso em 02 jun. 2018.
- [18] HOMER ENERGY. HOMER Pro: *User Manual*. Estados Unidos, 2016.
- [19] MINHA CASA SOLAR¹ (Brasil). Painel Solar 275W Canadian Solar - CS6K-275P. Disponível em: https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-275wcanadian-solar-cs6k-275p-244?utm_source=GoogleShopping&utm_medium=&utm_campaign=GoogleShopping&gclid=CjwKCAjws8vaBRBFEiwaQfhsNPxqNeKbe_DyB2P8LLohd9bF2YiNSM-tdngWF8CUNH1-B0SvO-5fxoCyJkQAvD_BwE. Acesso em: 10 ago. 2018.
- [20] MINHA CASA SOLAR² (Brasil). Inversor *Grid-Tie* 1,5 kW Canadian Solar - CSI-1.5K-TL. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/inversor-grid-tie-1-5kwsem-wi-fi-canadian-solar-csi-1-5k-tl-79306#trustvox-reviews>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- [21] NASCIMENTO, Vitória Caroline Carvalho do. Aplicação de Técnicas de GLD em Consumidor de BT: Implementação da Tarifa Branca e da Geração Distribuída. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, UFERSA, Mossoró, 2018.
- [22] SANTOS, Laura Lisiane Callai dos. Metodologia para Análise da Tarifa Branca e da Geração Distribuída de Pequeno Porte nos Consumidores de Baixa Tensão. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, UFSM, Santa Maria, 2014.
- [23] SILVA, Rodrigo V.; AFFONSO, Carolina M. Gerenciamento pelo Lado da Demanda de um Sistema Residencial utilizando Recozimento Simulado. UFPA, Pará, 2015.
- [24] SUPER CÂMBIO (Brasil). Cotação do Dólar. 2018. Disponível em: <https://www.supercambio.com.br/>. Acesso em: 10 ago. 2018.

Capítulo 20

Planejamento para implantação de uma rede multiserviço baseado na tecnologia FTTH para provimento de banda larga no interior do Rio Grande do Norte

Luan Anderson Teixeira Lima

Gutemberg Soares da Silva

André Pedro Fernandes Neto

Fred Sizenando Rossiter Pinheiro

Resumo: As empresas de telecomunicações enfrentam o grande desafio de prover acesso à Internet de alta velocidade, com qualidade de transmissão e em face do expressivo crescimento de clientes, desde os grandes centros urbanos até as zonas rurais mais distantes. Anteriormente grande parte da planta foi implantada para suportar serviços básicos de telefonia, que no cenário atual não possui estrutura adequada para suprir as evoluções das demandas de comunicação. O presente trabalho tem como objetivo de desenvolver o planejamento para implantação de uma rede óptica, FTTH (Fiber-To-The-Home) com tecnologia GPON, para prover acesso à internet no interior do estado do Rio Grande do Norte, onde atualmente opera seus serviços com a utilização de rádios e em determinadas localidades, atende os clientes utilizando cabos UTP. Tais soluções não asseguravam estabilidade necessária e não oferecem a possibilidade de se ter velocidades maiores na ordem de gigabytes por segundo (Gbps) se comparado a fibras ópticas. São abordados neste trabalho os principais conceitos, tecnologias envolvidas, equipamentos, materiais, instrumentos e softwares, que foram utilizados no planejamento e na implantação da solução formulada.

Palavras-chave: Provedor de Acesso; Redes Ópticas; FTTH; Internet; Plataforma Multiserviços.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em cidades de interior do Brasil, diversas empresas de telecomunicações e provedores de internet banda larga de pequeno porte, vêm utilizando novas formas de provisionamento de seus serviços. As redes que operam com cabeamento metálico, apresentam um elevado custo e dificuldades de implantação de *backbone* que demandam uma alta utilização de cabos de cobre (OLIVEIRA, 2010).

Esta tecnologia apresenta também restrições no atendimento pelo baixo nível de segurança e potenciais interferências eletromagnéticas. Os clientes mais exigentes demandam maiores velocidades de banda e melhores preços. Com a substituição das redes metálicas por fibras óticas os provedores podem superar todas estas restrições e oferecer um melhor atendimento aos clientes. As novas tecnologias e topologias de acesso, com cabos óticos, passaram por um grande desenvolvimento e vem expandindo sua aplicação rapidamente no mercado das operadoras e provedores (FILGUEIRAS e PESSOA, 2015). As redes óticas, por sua vez, já possibilitam uma aplicabilidade em redes de *backbone* interestaduais e intermunicipais.

A partir dos anos 2000, a utilização da fibra óptica começou a se popularizar entre os Provedores de Serviços de Internet (Internet Service Providers - ISPs) regionais, deixando de ser utilizada exclusivamente por grandes operadoras de telecomunicações. Os ISPs são provedores que oferecem serviços de internet em cidades menores, geralmente do interior, onde as grandes operadoras não atuam. Considerando que tais cidades expandiram de forma crescente suas necessidades de acesso a comunicação, os ISPs começaram a utilizar fibra óptica para oferecer serviços de melhor qualidade, maior velocidade e confiabilidade a seus usuários, em contraponto ao oferecido pelos meios de transmissão usados comumente, como Wirelles (enlaces de rádio) e cabos metálicos (cabos UTP), não tem capacidade de atingir grandes velocidades de conectividade (CARVALHO, 2015).

Esse cenário de crescimento resultou da utilização das novas tecnologias pelas empresas e provedores de telecomunicações e das ações e políticas governamentais com o objetivo de popularizar o uso da internet no país. Dentre essas ações, destaca-se o programa como PNBL Plano Nacional de Banda Larga coordenado pelo Ministério das Telecomunicações (LEMOS, 2012). Neste programa, a infraestrutura proposta contempla aplicações com vários benefícios à sociedade pelo fornecimento de acesso a informações e serviços de saúde, educação comércio e entretenimento, ensejando também a prática de um valor acessível na contratação de internet banda larga, por meio de uma política para desoneração no setor das telecomunicações, com o propósito de viabilizar a ampliação das redes óticas no país (PEREIRA, 2013).

Com a crescente demanda pela troca de informações entre as pessoas de maneira ágil e confiável, com o passar dos anos vem surgindo a necessidade de se implementar redes de telecomunicações mais robustas e com capacidade de transmitir grandes volumes de dados, de forma confiável e em menores períodos de tempo. Baseado nisso, o Brasil está investindo mais na construção de redes de telecomunicações utilizando fibra óptica como meio de transmissão, conforme observamos na Tabela 01. As estatísticas do Serviço de Comunicação Multimídia (SCM) publicadas recentemente pela Anatel (2020) revelaram um novo crescimento da base de banda larga fixa por fibra ótica no País. Ao fim do segundo mês de 2020, 10,764 milhões de clientes contavam com o acesso em FTTH, em alta anual de 68,2% e mensal de 1,5%. No total, os dados indicaram 32,616 milhões de contratos ativos em todas as tecnologias

Tabela 01 - Estatísticas de acessos a banda larga fixa por tecnologia no Brasil.

Milhares	2017	2018	2019	1T20	abr/20	mai/20
Fibra	3.056	5.681	10.127	11.365	11.329	12.105
HFC/Cable Modem	9.032	9.496	9.590	9.648	10.058	9.611
Xdsl	13.100	12.233	9.447	8.587	8.202	8.036
Spread Spectrum	2.157	2.163	2.114	1.950	1.804	1.890
ETHERNET	655	798	895	885	802	802
SATELITE	134	188	266	275	283	292
LTE	365	357	241	230	231	231
FWA	132	141	130	150	146	147
ATM	187	141	118	117	117	114
Outras	20	17	18	14	14	14
WIMAX	24	16	12	9	9	12
Total	28.863	31.233	32.957	33.231	32.995	33.254

Fonte: <http://www.teleco.com.br/blarga1.asp>. (ANATEL, 2020)

O desempenho de um sistema de telecomunicações costuma ser avaliado a partir de dois parâmetros fundamentais: o fator de atenuação e a largura de faixa. O primeiro estabelece a distância máxima de

transmissão sem necessidade de repetidores ou sistemas capazes de recuperar o nível do sinal. O segundo fixará a máxima frequência de modulação permitida, em caso de sistemas analógicos, ou a taxa máxima de transmissão no caso dos sistemas digitais sem necessidade da restauração da forma dos pulsos (RIBEIRO, 2003)

Os provedores de serviço de telecomunicações realizaram uma exploração exaustiva dos recursos existentes na infraestrutura da última milha, interligação entre a o cliente e as empresas, na prestação de um serviço dedicado ou conexões de internet, surgindo então, a necessidade de redes que forneçam maior largura de banda.

Esta demanda por maiores larguras de banda sob as redes de acesso, disponibilizadas hoje em par metálico, evidencia a necessidade de utilização de fibras óticas como alternativa de oferecer aos usuários tecnologias de transmissão apoiada em uma relação de custos e benefícios compatíveis, contemplando clientes e provedores. Atualmente, a fibra ótica é muito empregada em redes de longa distância e metropolitana, porém ainda não alcançou o nível de aplicação desejável em redes de acesso em razão dos custos, ensejando portanto a busca por tecnologias baseadas em fibra que fossem economicamente viáveis, simples, confiáveis e com boa escalabilidade, que suportassem serviços integrados de voz, vídeo e dados. A tecnologia rede ótica passiva (*passive optical network – PON*) tem se destacado como solução para as redes de acesso, pois possibilitam uma infraestrutura com bom desempenho, qualidade e ótimo custo-benefício (CRUZ E KONOPACKI, 2014).

As redes PON compartilham a fibra ótica, com transmissão bi-direcional e a utilização de splitters óticos que dividem a conexão singular da fibra desde a rede de distribuição até o cliente final, utilizando componentes passivos ao longo do enlace. Considerando que não há elementos ativos ao longo da rede de acesso e somente são utilizados elementos que não fazem consumo de energia elétrica, os custos de infraestrutura e manutenção da rede se apresentam significativamente reduzidos, embora a arquitetura da rede utilizada desempenhe um papel fundamental neste objetivo (PINHEIRO, 2017).

Em termos de redes óticas instaladas, a rede GPON (Rede ótica passiva com taxa de transmissão em Gigabit) é a mais difundida no momento e permite operar com taxas de 1,25 Gbit/s e 2,5 Gbit/s na direção downstream e 155 Mbit/s, 622 Mbit/s, 1,5 Gbit/s e 2,5 Gbit/s na direção upstream, sendo flexível tanto para o atendimento de tráfego em rajada quanto para tráfego em taxa de bit constante O sistema GPON pode operar em modo de quadros Ethernet, em modo de células ATM ou em modo misto, combinando vantagens de QoS de ATM e a eficiência de Ethernet (KOONEN, 2006).

O planejamento de uma rede GPON para provimento de internet na localidade de Brejinho, com população de aproximadamente 12 mil habitantes, no interior do estado do Rio Grande do Norte, o objetivo deste trabalho com o desenvolvimento de um projeto para construção de uma rede de fibra ótica, com o intuito de expandir a rede existente e oferecer aos clientes serviços de qualidade superior.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ESTRUTURA DE UMA REDE FTTH

As topologias que estendem a fibra ótica através da arquitetura de acesso de última milha são: FTTH (Fiber To The Home - até a casa), FTTB (Fiber To The Building - Fibra até o prédio), FTTCab (Fiber To The Cabinet - Fibra até o gabinete), e FTTC (Fiber To The CURB - Fibra até a calçada). Todas essas topologias oferecem um mecanismo que habilita suficiente largura de banda para o envio de novos serviços e aplicações (HIDALGO et. al, 2018).

Uma rede ótica passiva é integrada, essencialmente, por quatro elementos principais: O Optical Line Termination (OLT), ou Terminal de Linha Óptico, que é o equipamento localizado no ambiente da estação da empresa de telecomunicações ou em armários para atendimento local, o Optical Network Terminal (ONT), aparelho instalado no ambiente do cliente entregando os serviços contratados, o Splitter, que de forma passiva faz a divisão do sinal, possibilitando o compartilhamento da rede de forma e a fibra ótica que atua como canal de transmissão dos dados (URBANO, 2019).

Nesta arquitetura básica de uma rede PON concentrador é responsável pela conexão e gerência dos usuários da rede de acesso óptica, designado por terminal de linha ótica (OLT-Optical Line Termination), que controla o fluxo bidirecional das informações, multiplexa os dados dos clientes e faz a distribuição, sendo instalado no escritório central do provedor. Entre suas funcionalidades estão: conversão de sinais ópticos para elétricos e vice-versa, controle de transmissão bidirecional, multiplexação e demultiplexação, controle de alocação dinâmica de banda, realização das verificações de segurança. A OLT se conecta até o cliente que utiliza um equipamento chamado de terminal de rede ótica (ONT-Optical Network Termination), diretamente na casa do cliente, passando por divisores óticos passivos (splitters) na rede de acesso. A ONT tem o papel de receber e transmitir os sinais ópticos, assim como convertê-los para elétrico nas saídas que alimentam os equipamentos do usuário. Dependendo da necessidade do serviço que será prestado, pode conter portas Ethernet, portas para telefonia e transmissão sem fio Wi-Fi.

O Splitter, é o elemento passivo utilizado na rede óptica para efetuar as derivações do sinal se constituindo em um divisor óptico bidirecional, no qual o sinal de luz é dividido ou combinado nas fibras ópticas, formando a Optical Distribution Network (ODN) entre o OLT e o ONT e permite que uma única fibra desde a OLT, seja partilhada por vários clientes. Os Splitters podem ser simétricos (balanceados) ou assimétricos (desbalanceados), com uma ou duas fibras de entrada e até 128 fibras de saída (URBANO, 2019).

A rede de acesso FTTH contém uma ou mais OLT's (Optical Line Terminal), que ficam em um rack externo ou no próprio Head End (Central provedora de serviços de telecomunicações/Datacenter). A OLT é o ponto de conexão entre a rede de acesso e o núcleo (core) da rede, responsável pela conversão do sinal elétrico-óptico e óptico-elétrico, pela consolidação e concentração do tráfego, reduzindo as interfaces interligadas ao núcleo da rede. A multiplexação dos diferentes usuários é realizada no OLT.

A fibra óptica é o meio de transporte da informação, sendo a do tipo monomodo a mais utilizada. A ONU/ONT (Optical Network Unit / Optical Network Terminal) é o elemento óptico que fica situado no cliente final, onde é realizada a divisão dos serviços, pelo próprio dispositivo, pretendidos pelo cliente, nomeadamente, serviços de dados, de voz e vídeo/interativos. Basicamente, a ONU tem a função de converter o sinal óptico que chega da OLT em elétrico, que será encaminhado para as portas padrões dos equipamentos de aplicação do usuário final.

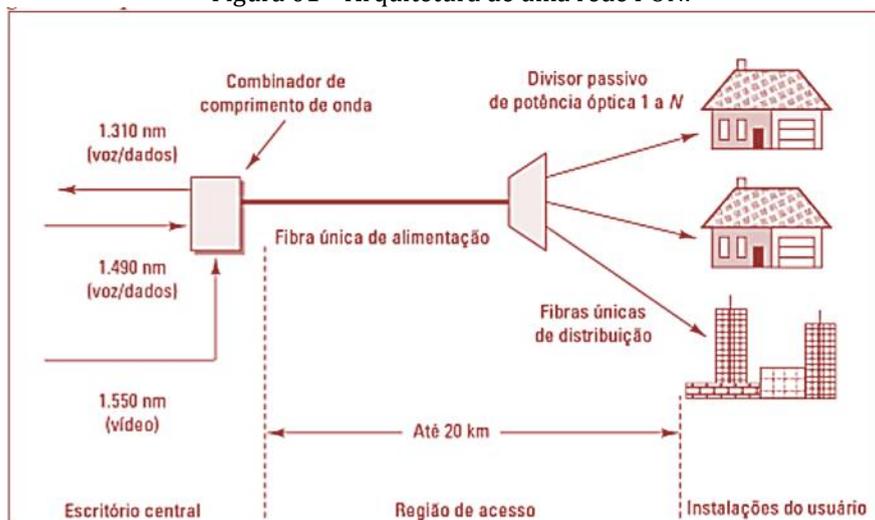
Entre a OLT e a ONU/ONT, existem elementos passivos que ditam a configuração e a capacidade desta rede, sempre respeitando as limitações de HP (Home Potential) da OLT. A distância da OLT até a ONU instalada no cliente deve ser de até no máximo 20 km (PINHEIR, 2017).

2.2. REDES PON

As principais arquiteturas das redes PON são a Ponto-a-Ponto e a Ponto-Multiponto. Na primeira são utilizadas fibras dedicadas que conectam a OLT diretamente à ONT. A segunda se caracteriza por compartilhar a mesma fibra entre vários usuários para conexão até a OLT. Na estrutura topológica consideradas tipicamente três configurações: Árvore: mais utilizada nas redes GPON, onde uma única fibra sai da OLT e é conectada a um splitter e pode atender a vários ONT/ONU, a Topologia em Anel, frequentemente utilizada em redes metropolitanas, oferece alta disponibilidade de serviço devido à redundância de fibra (CANAL E ABBADE, 2018).

O objetivo da rede PON é transmitir os sinais ópticos a partir das OLTs, as quais são redirecionados pelos divisores ópticos passivos (splitters) e convertidos nos ONTs e ONUs, em formato eletrônico. Esses dispositivos disponibilizam em suas saídas os sinais elétricos para os equipamentos ligados a eles (aparelhos de TV, telefones, computadores, modems e outros). A figura 01 abaixo ilustra a arquitetura de uma rede PON (KEISER, 2010).

Figura 01 – Arquitetura de uma rede PON.



Fonte: Keiser, 2010

2.3. DIVISÃO DE POTÊNCIA – SPLITTERS

Os Splitters Ópticos são componentes passivos que realizam a divisão do sinal óptico em uma rede PON. Eles são constituídos por uma fibra de entrada e N fibras de saída, as quais dividem a potência do sinal óptico de forma proporcional entre elas, caracterizando-os como splitters balanceados. São utilizados principalmente em redes ópticas FTTx/PON. A topologia clássica da rede GPON é a do tipo árvore, na qual o sinal vai sendo dividido através da OLT e sendo ramificado por várias divisões até chegar ao usuário final (TELECO, 2018). Cada porta do OLT das redes GPON podem dividir o sinal numa razão de 1:64, ou seja, uma única fibra é capaz de ter mais 64 fibras, mas há fabricantes que podem dividir o sinal até 1:28, isso significa que é possível agregar até 128 usuários nesta porta. Toda essa divisão na GPON é realizada por um dispositivo chamado “divisor” ou “Splitter” onde é dividido o sinal incidindo uma perda em cada vez que ele é dividido e conforme sua utilização, essa queda será diretamente proporcional a divisão feita por ele. Ou seja, quanto mais se dividir o sinal óptico, maior será a perda de potência no enlace conforme visto na tabela 02 (FURUKAWA, 2018).

Tabela 02 – Perda de potência por Splitter.

Modelos	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Banda Óptico Passante	PLC: 1260-1650		FBT:1260-1360nm e 1480-1650nm			
Perda de Inserção Máxima (Desconsiderar perdas das Conexões)	3,7dB	7,1dB	10,5dB	13,7dB	17,1dB	20,5dB
Uniformidade	0,5dB	0,6dB	1,0dB	1,3dB	1,5dB	1,7dB
Sensibilidade á paralização máxima (PDL)	0,2dB	0,2dB	0,25dB	0,3dB	0,4dB	0,5dB
Diretividade	>55dB					
Perda de retorno	>55dB					

Fonte: Furukawa. <https://www.efurukawa.com/storefront/search?Ntt=splitter+nc%2Fnc>.

2.4. TRANCEIVERS ÓPTICOS

O Transceiver Óptico tem como objetivo converter sinal óptico (sinal de luz transportado através de fibra óptica) em sinal elétrico (transportado por cabos de par trançado metálico, o cabo de rede). Os cabos de rede de par trançado metálico, UTP, degradam o sinal quando ultrapassados a metragem de aproximadamente 90 metros. Por isso, para distâncias acima de 90 metros temos que utilizar os transceivers ópticos. Os transceivers ópticos possuem níveis de transmissão e sensibilidade de recepção de acordo com o tipo de laser óptico utilizado, conforme podemos observar na figura 03.

Figura 03 – Níveis de Transmissão e Sensibilidade dos Tranceivers (ITU-T G.984-2).

	Classe B+	Classe C+
OLT Potência Transmissão	1,5 a 5 dBm	3 a 7 dBm
OLT Sensibilidade Recepção	-28 dBm	-32 dBm
ONU Potência Transmissão	0,5 a 5 dBm	0,5 a 5 dBm
ONU Sensibilidade Recepção	-27 dBm	-30 dBm

Fonte: Pinheiro (2017).

Analisando a figura 03, observamos que o tranciever Classe C+, possui um nível de transmissão de potência e sensibilidade de recepção maior que o tranciever Classe B+. Dessa forma, se tivermos uma ONU com um sinal de -31 dBm no cliente, a OLT só irá reconhecer essa ONU na rede se o laser utilizado na OLT for do tipo Classe C+ que possui uma sensibilidade de recepção de até -32 dBm. Já no caso de a OLT utilizar um laser do tipo Classe B+, a ONU mais distante só será reconhecida pela OLT se o nível de sinal de for de até -28 dBm.

3. MÉTODO E DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE FTTH

Este trabalho contemplou uma ampla revisão da literatura para fundamentação teórica e conhecimento das tecnologias abordadas, onde foram estudados os modelos de redes de fibra ótica estendida até o ambiente do cliente, bem como as diferentes soluções de fornecimento desta tecnologia. Na segunda etapa foi realizado um estudo de caso, identificando a estrutura atual, incluindo a implantação e disponibilização dos serviços e tecnologia aplicada, proporcionando conhecimento do processo e limitações existentes, avaliando assim as soluções de tecnologias que poderiam implementadas e agregadas ao condomínio de maneira a proporcionar um melhor resultado de custo/benefício com serviço implantado.

Esse tópico descreve os procedimentos básicos realizados para o desenvolvimento do projeto de uma rede FTTH a ser implementada, por um provedor de acesso á internet, no município de Brejinho (Figura 04) localizado no interior do estado do Rio Grande do Norte.

3.1. REGIÃO A SER ATENDIDA

Brejinho é um município situado no interior do estado do Rio Grande do Norte, localizado na microrregião do Agreste Potiguar. De acordo com o censo realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano 2010, sua população é de aproximadamente 11.557 habitantes, com área territorial de 61.559 km².

Figura 04 – Localização de Brejinho no mapa do RN.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Brejinho_\(Rio_Grande_do_Norte\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Brejinho_(Rio_Grande_do_Norte))

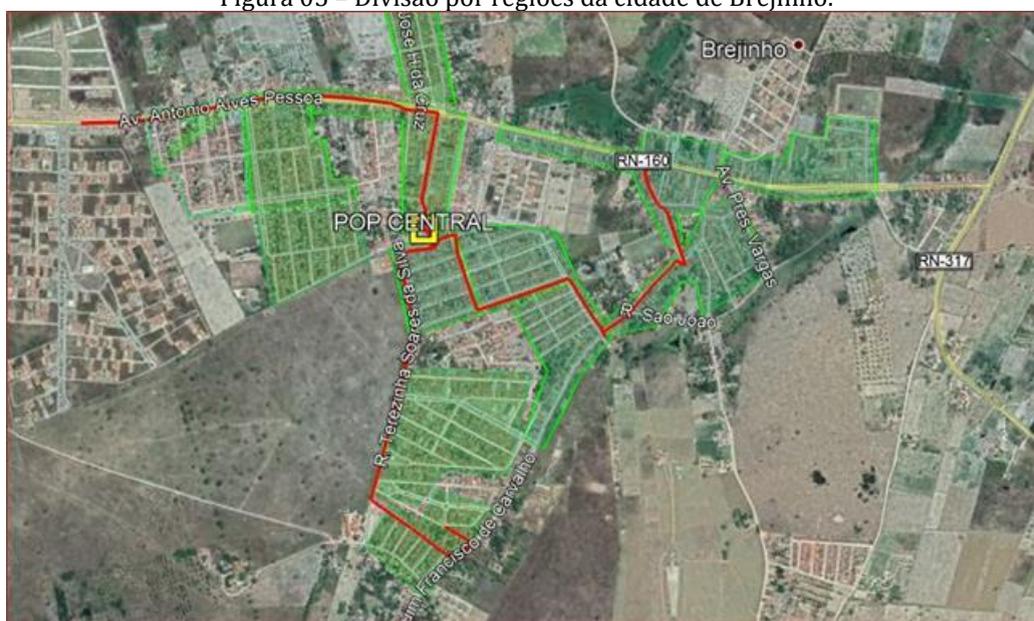
3.2. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Inicialmente foi realizada uma visita à cidade para conhecer/observar as regiões com a maior concentração de possíveis clientes a serem atendidos após a implantação da rede. Posteriormente, foi observado a condição dos postes nos trechos que possivelmente seriam utilizados no projeto. Definido a rota da fibra, no levantamento de campo foram obtidas as seguintes informações: logradouros, número de identificação dos postes (barramento), altura, esforço mecânico, coordenadas geográficas, quantidade de ocupantes, distância entre os vãos (em metros), tipos de rede Cosern (SGF, B4A, N1, N3 e outras).

3.3. PROJETO ÓPTICO

Munido das informações obtidas no levantamento de campo e com o auxílio do software Google Earth, a cidade de Brejinho foi dividida em regiões (células de atendimento), conforme apresentado na figura 05.

Figura 05 – Divisão por regiões da cidade de Brejinho.



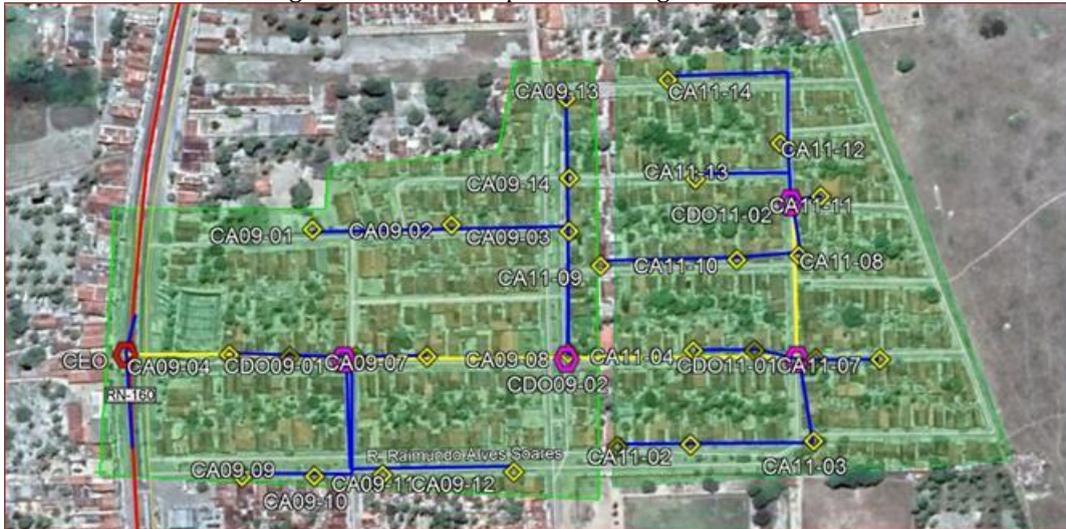
Fonte: Elaboração dos autores com Google Earth .

A cidade foi dividida em 13 regiões a serem contempladas no projeto de FTTH. Na figura 05, observa-se que do POP (Ponto de Presença), onde ficam os equipamentos (OLT, DGO, Routerboard, Banco de Baterias, No-break, Fonte Retificadora), saem 3 fibras troncos (rotas primárias) de 12 FO, por meio das distribuições (split) realizadas, serão responsáveis por fazer a divisão da rede óptica.

Com base no levantamento de campo, foi definido o posicionamento das CTOs em cada região (figura 06). Devido à grande demanda, houve regiões onde, foram instaladas até 16 caixas de atendimento. Enquanto em regiões de baixo potencial foram instaladas no máximo 8 caixas de atendimento.

Estabelecidas estas definições, foram posicionadas as CDOs que são responsáveis por coletar as fibras que chegam do tronco óptico e através dos ramais de distribuição (cabos ópticos com menor quantidade de fibras – 2FO, 4FO e 6FO) levar o sinal óptico até as CTOs, conforme mostrado na figura 07.

Figura 06 – Visão ampliada das Regiões 09 e 11.



Fonte: Elaboração dos autores com Google Earth .

Na Figura 07, a CDO está representada na cor rosa, os ramais de distribuição na cor azul, e as caixas de atendimento na cor amarelo. O padrão de divisão (figura 07) utilizado nesse projeto foi de agregação de dois splitters de 1:8, onde o primeiro splitter está localizado nas Caixas de Distribuição Ópticas (CDOs) e o segundo splitter nas Caixas de Terminações Ópticas (CTOs). Deste modo foi totalizado um quantitativo que remete a um padrão de divisão (split) 1:64, ou seja, capacidade de atender até 64 usuários por fibra. Dessa forma, cada CTO terá um splitter de 1:8, isto é, capacidade de atender 8 clientes.

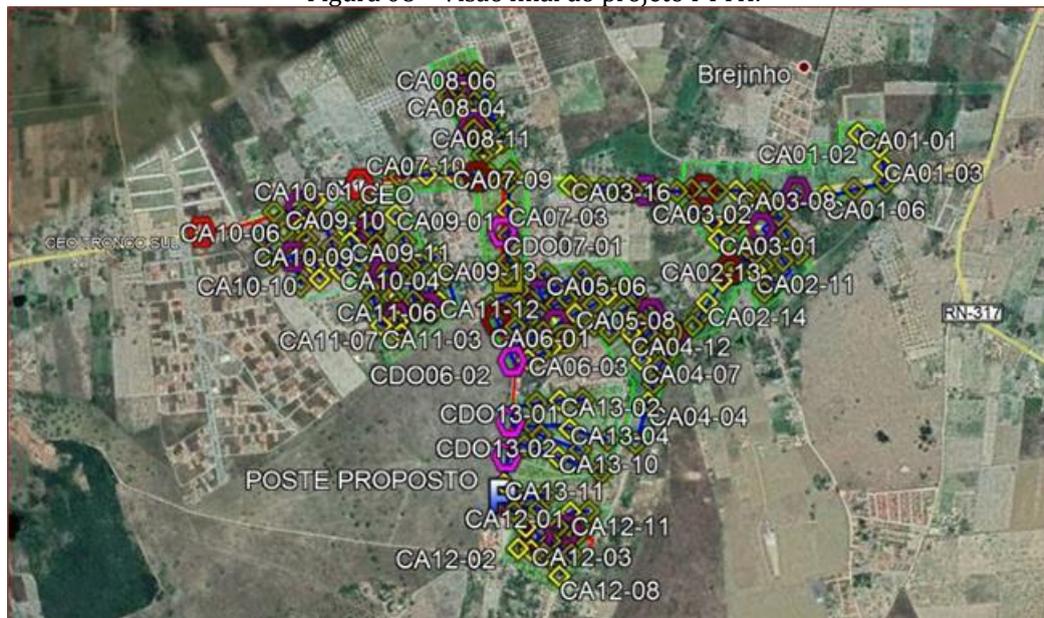
Figura 07 – Detalhe do padrão de splitagem adotado para região 01.



Fonte: fonte: elaboração dos autores com google earth .

Adotando esse padrão para todas as regiões, o projeto final foi configurado conforme demonstrado na Figura 08.

Figura 08 – Visão final do projeto FTTH.



Fonte: Elaboração dos autores com Google Earth .

O projeto foi planejado para oferecer a capacidade de atender 1664 clientes conforme detalhado na Tabela 05, sendo possível promover uma expansão desse atendimento futuramente 1792 clientes.

Tabela 05 – Capacidade de Atendimento por Regiões.

POWERNET Capacidade de Atendimento por Regiões	
Região	Capacidade (clientes)
1	64
2	128
3	128
4	128
5	128
6	128
7	128
8	128
9	192
10	128
11	128
12	128
13	128
Total:	1664

Fonte: Elaboração autores.

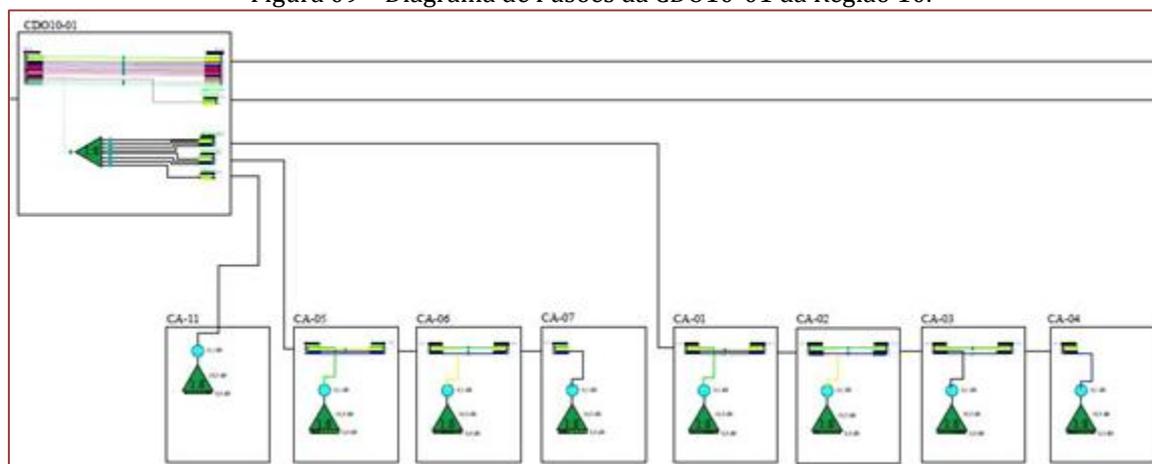
Para este cenário, utilizando a tecnologia EPON, seria necessário uma OLT com 26 portas PON. Mas se a escolha adotada for a tecnologia GPON, precisaríamos de uma OLT com apenas 13 portas, devido o padrão GPON ($DW=2,5Gbps / UP=1.25Gbps$) ter o dobro da capacidade de downstream do EPON ($DW/UP=1,25Gbps$).

3.4. DIAGRAMA DE FUSÕES ÓTICAS

Após a conclusão do projeto de FTTH no Google Earth, foi iniciada uma das etapas mais importantes do projeto óptico, que é a construção do diagrama de fusões. O diagrama de fusões tem a função de mapear todas as emendas ópticas realizadas no projeto, desde as fusões realizadas nas caixas de emenda até as realizadas nas caixas de atendimento. Dessa forma é estabelecido o controle de quantas fibras trocos estão sendo utilizadas para atender as regiões, e quantas fibras estão disponíveis para serem utilizadas em futuras expansões da rede óptica.

Para a construção do diagrama de fusões desse projeto, foi utilizado o software AutoCAD.

Figura 09 – Diagrama de Fusões da CDO10-01 da Região 10.



Fonte: Elaboração autores.

Na figura 09, observamos como ficou o diagrama de fusões para a região 10. Onde na CDO10-01, as fibras de 01 a 08 estão sendo desviadas (by-pass), mas são utilizadas para atender as caixas de emendas anteriores no projeto. A fibra 09 (cor preta) foi fusionada no splitter de 1:8, a fibra 10 (cor cinza) foi fusionada num cabo de 2FO que atenderá a CDO10-02, e as fibras 11 e 12 também foram desviadas (by-pass).

3.5. ESTIMATIVA DE MATERIAL

O levantamento de material necessário para execução do projeto foi realizado feito com base no projeto FTTH desenvolvido com o recurso do Google Earth, e nas informações obtidas no levantamento de campo. No projeto foi considerado o uso de cabos ópticos de 12 FO para o backbone, cabos ópticos de 06,04 e 02 FO para os ramais de distribuição e para as derivações da rede.

O cálculo do comprimento total desses cabos foi feito baseado nos percursos dos cabos em cada região definida no projeto, adicionada à metragem das reservas técnicas (RT) de cada trecho, acrescida de uma margem de 10%, conforme fórmula abaixo:

$$\text{Total de Metragem (fibra)} = \text{metragem do percurso} + \text{qtd de RT} + 10\%$$

Dessa forma, se o comprimento de fibra de 06 FO na região 03 for de 590 metros e considerando que nessa região existam 2 RT com 20 metros e 1 RT com 50 metros, o comprimento total de fibra de 06 FO será de 748 metros.

A determinação da quantidade de CEOs está diretamente relacionada à quantidade de CTOs existentes por região. Se em uma região temos 16 CTOs, podemos ter uma CEO com um splitter de 1:16, ou podemos ter duas CEO com um splitter de 1:8 em cada caixa. No projeto foi adotado o padrão de splitters de 1:8, portanto teremos 2 CEO para interligar as 16 CTOs.

Os materiais comuns por regiões, que compreendem a parte das ferragens são: Abraçadeiras ajustáveis BAP 2 e BAP3; Alça Preformada 12 FO; Suporte Dielétrico de sustentação de Vão de 80m; Plaquetas de

Identificação de Cabo Óptico; Optloop; Cordoalha Dielétrica; Arame de Espinar. Na parte de fusões, temos o Tubete para emenda óptica; Splitter Óptico de 1:8 não-conectorizado; Splitter Óptico de 1:8 conectorizado; Adaptadores Fêmea/Fêmea SC-APC. Para a montagem do Datacenter, foram utilizados os seguintes materiais: OLT Huawei (16 portas GPON); DGO; Cordões LC-PC/SC-APC; Extensões Ópticas SC/APC; Mikrotik Cloud Core Router Ccr1036; Retificador de Energia SRWI 30 A 48 V; Conversor; 4 Baterias 45A/12V; 1 Régua de 8 tomadas. No projeto, foi considerado um padrão de listagem de material comum para todas as regiões. Conforme podemos observar na tabela 06 abaixo.

Tabela 06 – Lista de Materiais para Região 3.

Lista de Materiais – Região 3	
Item	Quantidade
Caixa de Emenda Ótica – CEO	2
Caixa Termina Ótica (CTO) para splitter de 1:8 conectorizado (uni)	16
Fibra CFOA-SM-AS80-NR 6 F.O. (metro)	285
Fibra CFOA-SM-AS80-NR 4 F.O (metros)	694
Fibra CFOA-SM-AS80-NR 2 F.O (metros)	511
Alça Prefom1ada 12 FO(uni)	55
BAP 3 BRAC. AJUST. P/ POSTE – Com parafuso (uni)	8
BAP 2 BRAC. AJUST. P/ POSTE – Com parafuso (uni)	41
Suporte Dielétrico de sustentação para vão de 80 mt (uni)	48
Plaqueta de identificação de Cabo Óptico (uni)	48
Tubete para Emenda Óptica (uni)	38
Splitter Óptico Balanceado 1:8 Não Conectorizado (uni)	2
Splitter Óptico Balanceado 1:8 Out Conectorizado(uni)	16
Adaptadores F/F SC-APC (uni)	141
Cruzeta (uni)	3
Cordoalha Dielétrica 6,4 mm (metros)	120

Fonte: Elaboração autores.

4. RESULTADOS

Nesta sessão serão mostradas algumas fotos referentes à implantação/construção da rede FTTH projetada para a localidade de Brejinho. Na figura 10, podemos observar a OLT Huawei MA5608T que foi utilizada no projeto. Essa OLT tem uma placa com 16 portas GPON com capacidade de atendimento de até 2048 clientes.

Figura 10 – OLT Huawei MA5608T com os cordões fusionados ao DIO.



Fonte: Elaboração autores.

No projeto foi considerado um DIO de 36 FO referente aos três cabos troncos de 12 FO que chegam ao POP. Na figura 11 podemos observar o DIO montado, onde foi foram realizadas as fusões de todas as fibras dos cabos com as extensões ópticas SC/APC que compõem o DIO.

Figura 11 – DIO de 36 FO montado.



Fonte: Elaboração autores.

No projeto foi considerado inicialmente o uso inicialmente de uma Roteador de borda CCR e de um switvh TPLink com 12 portas SFP, conforme mostrado na figura 12.

Figura 12 – Router CCR + Switch TPLink.



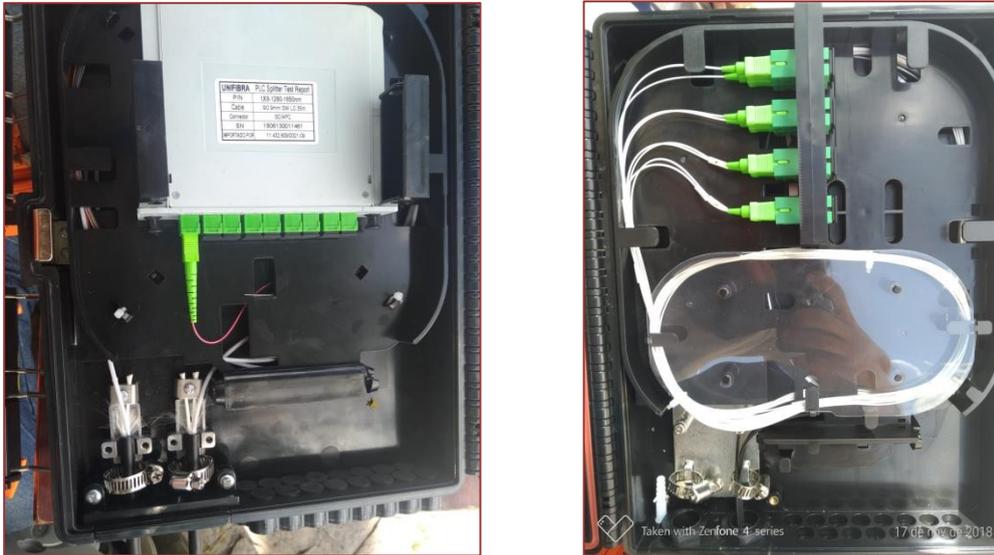
Fonte: Elaboração autores.

Figura 13 – Montagem de CDO com splitter de 1x8 Balanceado não conectorizado.



Fonte: Elaboração autores.

Figura 14 – Montagem de CTO's com splitter de 1x8 Balanceado conectorizado.



Fonte: Elaboração autores.

Após a montagem das CTO's, foi realizada a aferição do nível de sinal na saída dos splitters de 1:8 de cada caixa de atendimento com o auxílio do Power Meter, conforme mostrado na figura 15. O nível de sinal de -16.94 dBm exibido está muito bom, visto que a OLT reconhece a ONU no cliente com uma sensibilidade de até -27 dBm. Esse sinal que chega na saída dos splitters sofre atenuações, devido as perdas dos splitters instalados ao longo da rede e as perdas por km ao longo da fibra.

Figura 15 – Medição do nível de sinal com Power Meter na CTO após instalação.



Fonte: Elaboração autores.

5. CONCLUSÕES

No mundo atual, o processo de inovação é constante e cada vez mais rápido. As redes de telecomunicações são infraestruturas vitais como suporte para este processo e precisam acompanhar as mudanças de comportamento da sociedade para conseguir suprir todas as suas demandas. Os novos serviços providos em banda larga, elevaram a competitividade entre as empresas de telecomunicações e ao mesmo tempo passaram demandar a substituição das redes de cabeamento existentes por plataformas plenamente óticas, contemplando novas tecnologias e topologias de acesso, planejadas para atender a crescente necessidade do mercado por novos produtos e serviços. Este trabalho contemplou uma revisão da literatura para fundamentação teórica e conhecimento das tecnologias abordadas, sendo estudados os modelos de redes de fibra ótica interligadas até o cliente, bem como as diferentes soluções de fornecimento desta tecnologia.

Foi realizada uma análise da tecnologia GPON, ênfase na descrição de seus componentes, tipos de topologias, padronização e estratégias de multiplexação, com objetivo de propor por meio de um projeto de FTTH, uma solução para serviços de telecomunicações providos em banda larga que disponibiliza aos clientes a entrega de dados, voz e vídeo em uma mesma transmissão. No que se refere às topologias de FTTX, no FTTA, FTTB, FTTC e FTTH foi verifica-se que estes modelos podem ser considerados muito semelhantes, devido a todos atenderem a ONU ou ONT com rede PON, a diferença é na abordagem até o usuário final, pois cada topologia possui suas características de abordagem.

Após os estudos foi realizado o desenvolvimento do projeto de construção de uma rede FTTH para atendimento do município de Brejinho com uma rede multisserviços. O trabalho mostrou o roteiro para planejamento e execução de projetos FTTH, baseado em literatura atual, identificando os principais requisitos em aspectos técnicos e comerciais que devem de ser seguidos para elaboração de projetos de redes óticas, incluindo todas as normas e padrões adotados no projeto de redes óticas de forma a assegurar que os resultados previstos no projeto serão alcançados de maneira satisfatória.

REFERÊNCIAS

- [1] ANATEL. Agência nacional de Telecomunicações. Acessos em banda Larga Fixa. <https://www.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa> (2020)
- [2] B. T. KOONEN, "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?," Proceedings of the IEEE, 2006.
- [3] CANAL, M. B. e ABBADE A L. R. Conceitos e Aplicações das Redes NGPON. VIII SRST – INATEL. 2018
- [4] CARVALHO, P. Aplicação da fibra óptica em sistemas FTTH – Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista Guaratinguetá, 2015. 83 f.
- [5] CRUZ, A.M.V.; KONOPACKI, M. R. Redes GPON como solução para FTTH. Trabalho de Conclusão de Curso. UTFPR. 2014.
- [6] FILGUEIRAS G.M.G. e PESSOA C.R.M., FTTH em Redes Óticas Passivas Engenharias On-line. 1, n. .2015
- [7] FURUKAWA. (2018) <https://www.efurukawa.com/storefront/search?Ntt=splitter+nc%2Fnc>
- [8] HIDALGO, F. L, SOUSA F. A., CRUZ O. C., SOARES Í. R M. Análise de redes GPON com FTTH. XIII ENEEEL 2018 PE
- [9] IBGE. Município de Brejinho. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/brejinho/panorama> . Acesso em: 10 de agosto de 2020.
- [10] KEISER, G. Optical Fiber Communications. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2010
- [11] LEMOS M. O Plano Nacional de Banda Larga Brasileiro: um estudo de seus limites e efeitos sociais e políticos. Revista e-Compós. COMPÓS. 2012
- [12] OLIVEIRA, Patrícia Beneti de. Tutorial De Soluções De Atendimento Em Fibra Óptica I. TELECO. 2014 Disponível <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialsolfo1> Acesso em: 22 de agosto. 2020.
- [13] PEREIRA, F.C. L., Proposta de um Método para Otimização e Dimensionamento de Redes GPON. Dissertação de Mestrado. Curitiba. PPGIA. PUC Paraná. 2013.
- [14] PICIN, Odair José e GIMENEZ, Edson Josias Cruz .Rede GPON: Conceitos e Aplicações. 6f. Disponível em: <<https://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seminario-de-redes-e-sistemas-de-telecomunicacoes/iii-srst/9475-rede-gpon-conceito-e-aplicacoes/file>>. Acesso em: 30 de julho de 2018.
- [15] PINHEIRO , J.M.S. Redes óticas de Acesso em Telecomunicações. 1ª Edição. Elsevier. Rio de Janeiro. 2017
- [16] RIBEIRO, J.A.J. Comunicações Óticas – São Paulo: Érica, 2003
- [17] TELECO. Redes PON. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpon/pagina_1.asp>. Acesso em: 31 de julho de 2018.
- [18] TELECO. Tipos de conexão à internet no Brasil. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/internet_usu.asp>. Acesso em 10 de agosto de 2020.
- [19] URBANO R. R. Projeto de Rede FTTH para o Loteamento Bosque das Colinas. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Telecomunicações UFRN. 2019

Capítulo 21

Bastão de leitura de brinco eletrônico RFID

Alessandro André Mainardi de Oliveira

Guilherme Lamana Carvalho

Cássio Jhonatan Gamarra Olegário

Gustavo Garcia Pereira

Frederico Girardon Hartmann

Jefferson Marcon Frigo Junior

Resumo: Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um dispositivo para a pecuária, em forma de bastão que realiza a leitura de identificadores de rádio frequência inseridos em bovinos, com a finalidade de registrar informações sobre o animal. Os dados referentes ao rebanho podem ser importados para um software de planilhas eletrônicas, gerando gráficos e relatórios para o produtor rural. Para confecção do leitor foi utilizado a plataforma de prototipagem Arduino, juntamente com um leitor de rádio frequência e um módulo de cartão SD para armazenamento dos dados. Para o desenvolvimento do software do dispositivo foi utilizado a metodologia ágil FDD, seguindo suas práticas e a linguagem de programação Arduino baseada em C/C++.

Palavras-chave: Arduino; RFID; Pecuária

1. INTRODUÇÃO

Embora o agronegócio não tenha acompanhado setores como os de serviço, comércio e indústria em termos de uso das tecnologias da informação ao longo dos anos, há uma necessidade de tal implementação de tecnologias no setor. A demanda cada vez maior exige a criação e adoção de inovações por parte dos produtores rurais, que cada vez mais aplicam novas ferramentas, tais como programas que controlam rotinas das fazendas, para produzir mais e com maior qualidade.

Conforme Oliveira (2011), os produtores da cadeia bovina chegaram à conclusão que: “os produtos de *software* oferecidos são complexos e caros, pois tentam englobar várias etapas da produção, o que leva ao excesso de funções nos produtos que, apesar disso, não diz respeito à real situação do produtor”. Como consequência, o pecuarista não consegue utilizar o *software* de maneira eficiente e, aqueles que o utilizam, complementarmente, fazem uso de planilhas agregadas. Segundo o autor, ainda foi apontada a falta de foco no cliente por parte dos desenvolvedores para ocorrência desse fato.

Nota-se também o despreparo do produtor rural para o gerenciamento dos seus negócios. Muitas vezes não há sequer a rotina de fazer anotações referentes aos animais em papel, o que gera o problema da maioria dos produtores, que é não saber, ao menos, quantos animais possui. Isso acarreta o não uso da tecnologia pois a adoção de *software* necessita de uma coleta de dados prévia, por mais simples que seja [Oliveira 2011].

É necessária a busca de tais tecnologias (rastreamento de animais, *software*, entre outras) por parte dos produtores. Tal busca deve ser resultado da compreensão dos mesmos do custo/benefício vantajoso, inclusive em pequeno e médio prazo, de artifícios como chips, códigos de barra e *software*, que podem inclusive solucionar a problemática da falta de organização de recursos nas fazendas.

O RFID para animais beneficia a cadeia de abastecimento alimentar em diversos sentidos, incluindo o controle de doenças de animais e comercialização de alimentos preparados. Sistemas e etiquetas RFID ajudam na rastreabilidade, monitoramento de condição, redução da criminalidade e na prevenção de erros [Okey Automação 2017].

Visando romper parte desta barreira é proposto neste trabalho a criação de um leitor de RFID portátil utilizando a plataforma Arduino. Este leitor será responsável pela leitura dos brincos dos animais, armazenamento dos dados e geração de alertas durante o manejo dos mesmos.

1.1. JUSTIFICATIVA

Visando a maior agilidade na atividade pecuária, este projeto auxiliará os pecuaristas na tarefa de controle das informações do rebanho, com baixo custo e alta agilidade. Ajudará também na hora do manejo dos animais, informando ao usuário se o animal precisa de cuidados.

1.2. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema para aquisição de dados referentes aos animais via RFID, utilizando a plataforma de prototipagem Arduino.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Construir um sistema com tecnologia RFID, baseado em *hardware* e *software* livre.
- Implementar o sistema na linguagem de programação Arduino que é baseada em C/C++.
- Dispor comodidade e agilidade para o pecuarista na hora do manejo.
- Gerar registros com informações referentes aos animais cadastrados no sistema.
- Testar o sistema em laboratório.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Nessa seção, serão apresentados conceitos que serão utilizados para realização desse trabalho.

2.1. AGROPECUÁRIA

A criação e cultivo de animais e plantas através da agricultura e da pecuária para produção de alimentos é tratada como prioridade mundialmente, ocupando posição de destaque na economia inclusive no Brasil. No país, o governo federal vê o setor, responsável por 21% do PIB, como importante gerador de emprego e renda. O Plano agrícola e pecuário 2017/2018 prevê aumento de 23,4% no montante dos recursos destinados ao mesmo [MAPA 2017].

Segundo relatório da *Food and Agriculture Organization*, agência das Nações Unidas encarregada do acompanhamento da evolução do setor, a produção de alimentos por parte da agricultura e pecuária deverá aumentar em 70% para atender à demanda (principalmente nos países em desenvolvimento) até 2050. Tal salto no volume de produção só pode ser obtido com extensivo auxílio da tecnologia.

Tem-se observado nos últimos anos o surgimento do “*smart farming*”, processo no qual a fazenda é vista como fábrica e uma miríade de operações passam a ser controladas por computadores e sistemas digitais, aumentando a qualidade do produto [The Economist 2016].

No Brasil, o processo de produção de gado requer cuidados especiais com a qualidade dos produtos extraídos de bovinos, exigindo em alguns casos a rastreabilidade individual dos animais, do nascimento até o abate, através do Serviço Brasileiro de Rastreabilidade da Cadeia Produtiva de Bovinos e Bubalinos [MAPA 2006].

2.2. PLATAFORMA ARDUINO

O Arduino representado na Figura 1 é uma placa de prototipagem eletrônica *open source* que integra *hardware* e *software*, nela há um micro controlador ATmega328P que tem suporte para entrada e saída de dados, utiliza principalmente a linguagem de programação baseada em C/C++, é alimentado por uma tensão de 5V (volts) [Arduino, 2017].

Juntamente com o Arduino será utilizado nesse trabalho um Módulo Cartão SD *Card*. Esse módulo permite a leitura e gravação de arquivos em cartões de memória, com simples interação com o Arduino, ele suporta formatos de arquivos do tipo FAT 16 e FAT 32 e requer uma alimentação de 3.3V [Filipeflop 2018].

Figura 1. Arduino nano ATmega328P [Filipeflop 2018]



2.3. IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA (RFID)

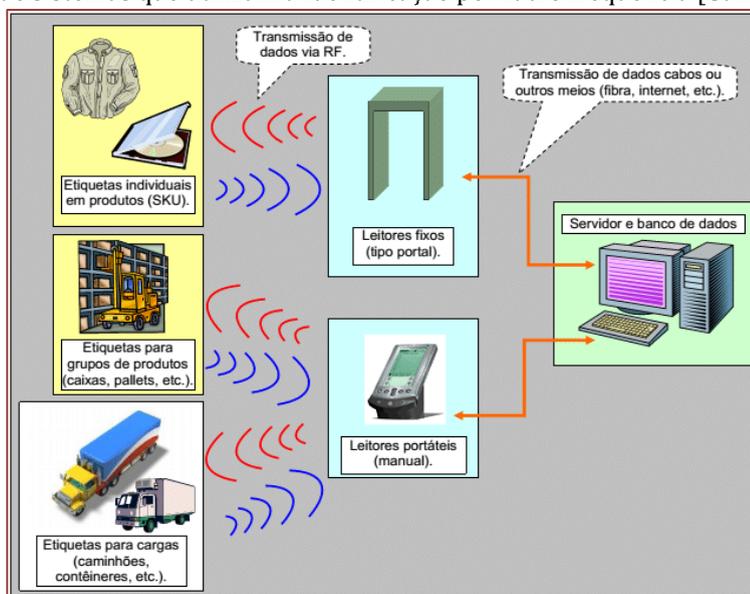
De acordo com Puhlmann (2015), procedimentos de identificação automática é uma poderosa tecnologia para identificar, rastrear e gerenciar uma grande quantidade de produtos, documentos, animais e até mesmo pessoas. São bastante populares em múltiplos setores como: serviços, compras, logística de distribuição, indústria e sistemas de fluxo de materiais.

Os sistemas de RFID (*Radio Frequency Identification*) são compostos por basicamente 3 partes: leitor com antena; identificadores (que são Tag, brincos, cartões); um computador ou controlador.

O RFID, é um sistema de identificação, no qual um dispositivo eletrônico que usa frequência de rádio ou variações de campo magnético para se comunicar com algum item. O leitor efetua o envio de um sinal de radiofrequência, quando este alcança um item que possui o identificador RFID, esse identificador é

energizado e assim transmite para o leitor uma cadeia de dados que correspondem a sua identificação. A Figura 2 demonstra sistemas que utilizam a tecnologia RFID [Puhlmann, 2015].

Exemplo de sistemas que utilizam a identificação por rádio frequência [Cunha 2016]



Com a finalidade de padronizar as Tags, algumas normas determinam a utilização de sistemas dentro das seguintes faixas de frequências: baixa frequência, alta frequência, ultra alta frequência e micro-ondas.

LF *low frequency* (baixa frequência): de 30 kHz até 300 kHz, seu maior uso é destinado a identificação de animais. HF *high frequency* (alta frequência): de 3 MHz até 30 MHz, geralmente utilizada para identificar objetos individuais. UHF *ultra-high frequency* (ultra alta frequência): de 300 MHz até 1 GHz, nesta faixa as etiquetas geralmente são utilizadas em processos logísticos. Micro-ondas: acima de 1 GHz. Duas frequências para RFID: 2,45 GHz e 5,8 GHz. Esta faixa de frequência é utilizada em aplicações industriais e científicas [Cunha 2016].

Outra maneira de distinguir os leitores e identificadores é pelo seu modo de comunicação, ou seja, como eles se comunicam. A comunicação pode ser *full-duplex* (FDX) ou *half-duplex* (HDX), isso significa que a comunicação entre leitor e identificador pode ocorrer ao mesmo tempo no caso do FDX ou cada um por vez, como ocorre com o HDX. No FDX o identificador recebe energia do campo magnético gerado pelo leitor e responde imediatamente com o seu ID, já no HDX o identificador armazena a energia recebida do leitor em um capacitor e a partir daí responde com o seu ID [RFIDnews 2009].

Os identificadores de animais são chamados de brincos eletrônicos. Essas Tags são compostas por duas partes, sendo uma macho e a outra fêmea, que são encaixados na orelha do animal, a Tag também obedece aos protocolos descritos pela ISO11784 / 11785 [Allflex 2015]. A Figura 3 apresenta a Tag.

Figura 3. Brinco eletrônico de rádio frequência [Allflex 2015]



2.4. FDD

O FDD (*Feature Driven Development*) é uma metodologia para desenvolvimento de *software* criada em 1997, é prática para trabalhar com projetos iniciais e com codificações já existentes. É bastante conhecida por utilizar práticas de métodos ágeis para a engenharia de *software*. O FDD possui cinco processos básicos, listados abaixo [Figueiredo 2007].

Desenvolvimento de modelo abrangente (nessa etapa é escolhido um modelo a ser seguido, ele surge com a junção de pequenos modelos do sistema);

Construção de lista de funcionalidades (nessa etapa é constituída por uma lista de funcionalidades que farão parte do *software*);

Planejar por funcionalidade (nessa etapa é determinada uma sequência de desenvolvimento, baseando-se na dependência entre elas);

Detalhe por funcionalidade (nessa etapa é desenvolvido o diagrama de sequência de cada funcionalidade);

Construção por funcionalidade (nessa etapa são desenvolvidas as classes e os métodos, e também é realizado os testes no sistema).

3. TRABALHOS CORRELATOS

Essa seção faz referências a trabalhos que utilizam a tecnologia de identificação por rádio frequência, que apresentam algumas características relacionadas a este trabalho.

Com o aumento de serviços de Pet Shop, Santos (2013) propôs um projeto de controle de atividades realizadas em animais de estimação, utilizando a tecnologia de identificação por rádio frequência. O sistema funciona da seguinte forma: o atendente cadastra informações sobre o cliente, sobre o Pet, cria uma ordem de serviço e tarefas diárias a serem realizadas no animal em um cartão RFID. O tratador pode consultar as ordens de serviço e tarefas diárias que precisa realizar no Pet. O sistema utiliza um Arduino uno e um leitor RFID, onde o Arduino realiza uma comunicação com um computador por meio de uma porta serial. Foi desenvolvido um *software* para cadastro e controle das atividades na linguagem de programação Java.

Cunha (2016) propôs um sistema baseado em *hardware* livre para identificação de alunos na Universidade Tiradentes do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (PRONATEC), Campus Itabaiana, SE. Nesse trabalho foi proposto uma carteirinha da instituição com uma tag RFID associada a matrícula de cada estudante, nesse caso o aluno será identificado na entrada da universidade e sala de aula. No protótipo do projeto foi utilizado um RLRduino da empresa Brasileira RLRobotics, que é baseado na arquitetura do Arduino UNO R3 que junto com um leitor de rádio frequência fica encarregado de gerenciar a circulação dos alunos na universidade.

Boeira (2016) desenvolveu um *software* para gestão de pecuária, o sistema foi desenvolvido com a linguagem de programação PHP e um sistema gerenciador de banco de dados MySQL. Para uma melhor disseminação dos dados foi desenvolvida uma ferramenta centralizada, com a utilização da internet, onde é possível o pecuarista gerenciar o rebanho em qualquer lugar e em qualquer dispositivo. A Figura 5 apresenta a interface inicial do sistema. Nessa interface inicial é possível gerenciar os seguintes grupos de negócios: gerenciar usuário e grupos de acesso; gerencia informações administrativas e financeiras;

gerenciamento de animais; lançamentos como medicamentos e processos necessários para criação de bovinos; e por fim relatórios sobre os animais.

3.1. CONCLUSÃO DOS TRABALHOS CORRELATOS

Nos trabalhos de Santos (2013) e Cunha (2016) é apresentado dois sistemas que demonstram o funcionamento do RFID juntamente com o a plataforma Arduino com o estudo dos mesmos é possível concluir que ambos mostram a importância da utilização da tecnologia de rádio frequência na questão de identificar animais e até mesmo pessoas, com agilidade e alto nível de organização.

Já Boeira (2016) desenvolveu um sistema para gerenciar informações de propriedades rurais, é proposto como trabalhos futuros o uso de tecnologia de identificação por rádio frequência o que facilitaria a coleta de dados na hora do manejo. Com isso esse trabalho pode vim a contribuir com a coleta de dados de forma rápida, gerando a possibilidade de unir esses conceitos em prol da gestão pecuária.

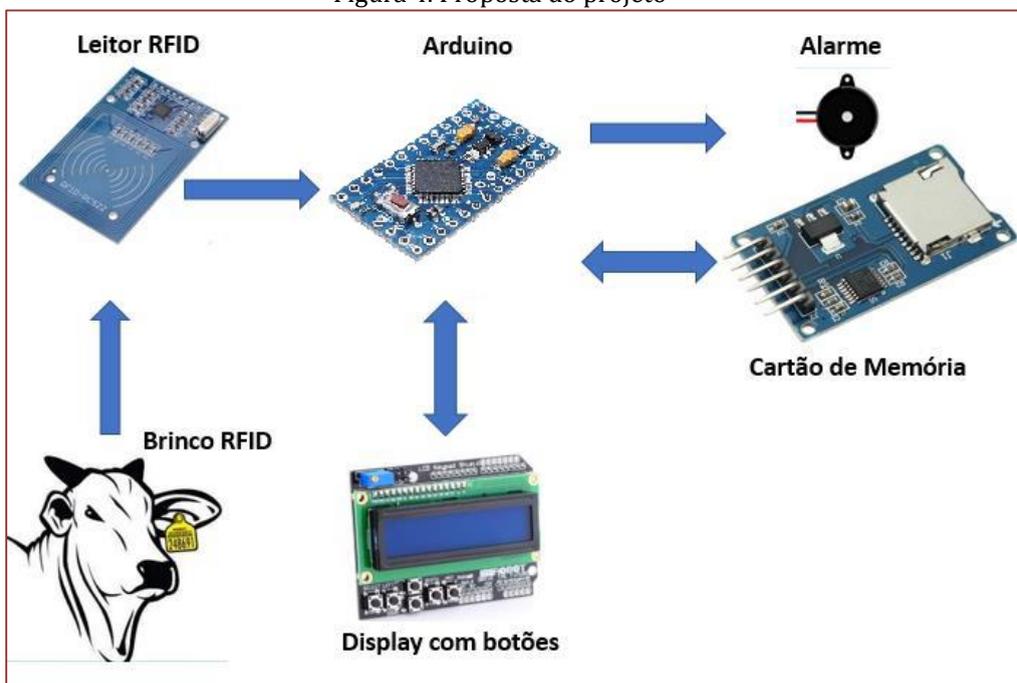
4. METODOLOGIA

Nessa seção, será detalhado todo o projeto do sistema, incluindo a parte eletrônica e *software*.

4.1. PROJETO

O presente projeto tem o uso da plataforma Arduino Nano como base para o seu desenvolvimento. O sistema conta com um leitor de RFID o qual faz a identificação do brinco do animal, um *display* LCD que mostra os dados, um leitor de cartão de memória onde é armazenado os dados e led's e buzzer para os alertas. O sistema funciona com uma tensão de 9V, a qual pode ser uma fonte 9V, um carregador veicular ou até mesmo uma bateria portátil, o que facilita a utilização no campo, onde pode não haver energia elétrica. A Figura 4 ilustra a proposta.

Figura 4. Proposta do projeto



O protótipo tem o formato de bastão, o qual facilita a operação pelo usuário, que deve aproximar o dispositivo do brinco do animal para a leitura da Tag RFID.

Neste momento, a primeira funcionalidade oferecida é o alerta de manejo, ou seja, animais que necessitam de algum cuidado diferenciado devem ter alertas criados anteriormente que, ao serem identificados pelo sistema, um sinal sonoro de três bips será acionado e aparecerá no *display* a observação referente àquele animal. Caso este alerta não seja acionado, significa que o animal não tem nenhuma restrição.

O leitor RFID que foi utilizado nesse trabalho é o RFIDRW-E-TTL que é um módulo leitor especificamente projetado para ler Tags de animais usando os protocolos FDX-B e HDX conforme descrito pela ISO11784 / 11785 [Priority1design 2018].

Após a leitura, os dados salvos no cartão de memória presente no sistema, poderão ser lidos por um computador e importados para um *software* de planilhas eletrônicas, onde é possível gerar gráficos e relatórios sobre o rebanho ou ainda exportados para programas específicos, pois a base gerada é no mesmo formato da maioria dos programas.

Os animais que necessitam de alerta devem ter os seus números inseridos no dispositivo, que pode ser em uma planilha do Excel ou bloco de notas e exportados para um cartão de memória.

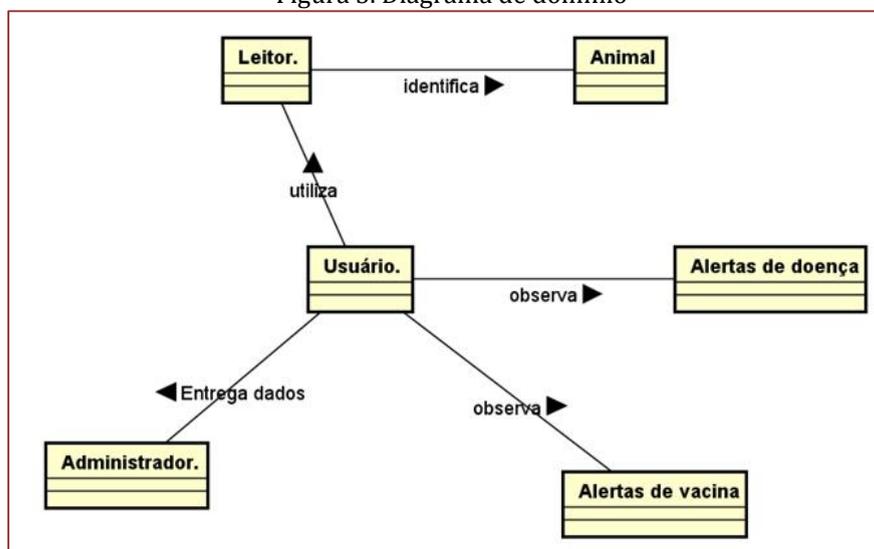
Para o desenvolvimento do *software* do sistema, foi usada a metodologia FDD, seguindo algumas de suas práticas. Para representar o modelo abrangente, foi usado o diagrama de domínio.

4.2. MODELO ABRANGENTE

O diagrama de domínio representa uma visão geral do objetivo do *software* que será utilizado no sistema, pode ser analisado na Figura 5.

Nesse diagrama é possível visualizar quais as possibilidades que o usuário pode realizar no sistema e também identificar a relação entre todas as entidades e suas dependências. Nessa etapa são realizados os estudos sobre o modelo do trabalho, seguindo a metodologia utilizada no mesmo.

Figura 5. Diagrama de domínio

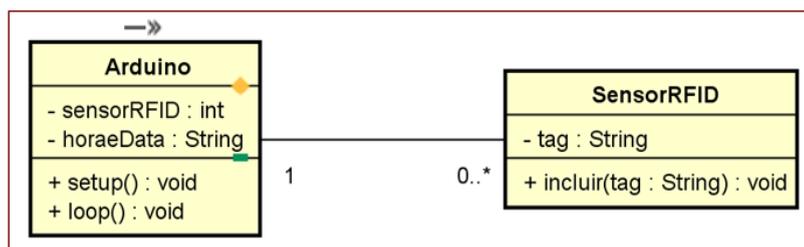


4.3. CONSTRUINDO POR FUNCIONALIDADE

A fase de construir por funcionalidade é a última da metodologia FDD, ela está representada por dois diagramas o de classes e o DER (diagrama de entidade relacionamento).

No diagrama de classes é possível analisar as classes e os relacionamentos entre elas, no diagrama abaixo será o que o Arduino irá utilizar, com isso não será usado orientação a objetos. A Figura 6 mostra o diagrama de classes do sistema.

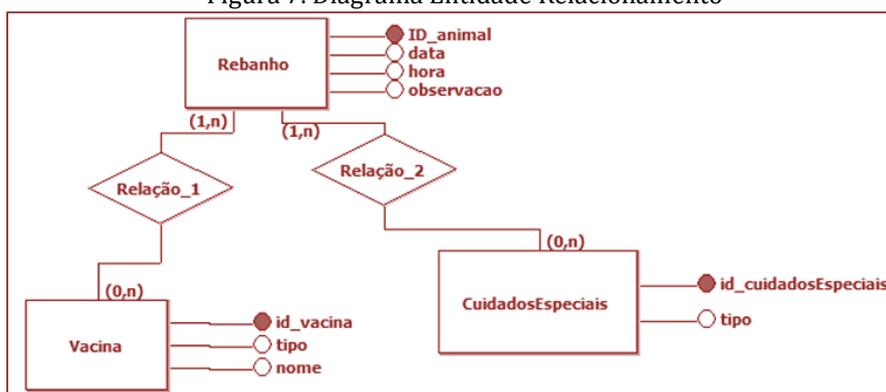
Figura 6. Diagrama de classes



O diagrama de entidade relacionamento serve para expressar a estrutura lógica de um banco de dados [Korth 2006]. A Figura 7 mostra a estrutura do banco de dados que será utilizada pelo sistema.

O banco de dados do sistema contará com três tabelas, onde será salvo os atributos referentes aos animais. Não será utilizado SGBD (sistema gerenciador de banco de dados) as tabelas são armazenadas no cartão SD do sistema no formato texto.

Figura 7. Diagrama Entidade Relacionamento



5. IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Para a implementação do sistema foi utilizado uma placa de fenolite perfurada onde foi inserido os módulos necessários para realização do trabalho. Na Figura 8 é possível visualizar os módulos de leitura RFID, relógio, cartão SD, *bluetooth* e também o Arduino que é responsável pelo processamento dos dados, o *display* LCD apresenta o número do brinco e informações de alerta quando presentes.

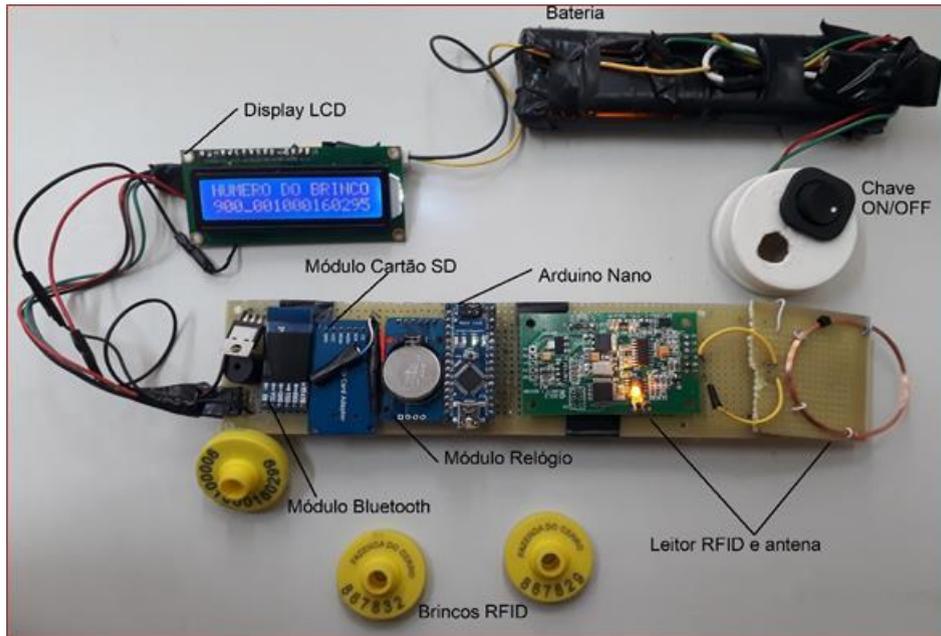
Foi utilizado o Arduino Nano, o qual conta com uma porta mini USB, o que facilita a atualização de *software* do sistema quando ele já está inserido no bastão. O Arduino fica fixado em um soquete soldado na placa, possibilitando a troca do mesmo se necessário.

O módulo de relógio RTC DS1307 disponibiliza a hora e dada para o sistema, ele conta com uma bateria de 1.5 volts a qual mantém a data e hora atualizada quando o sistema está desligado e utiliza a biblioteca DS1307. Já o adaptador de cartão micro SD mantém os arquivos de alerta e log do sistema utiliza a biblioteca SdFat, necessita também de um cartão micro SD com o formato dos arquivos em FAT 32.

O módulo *bluetooth* possibilitará que em trabalhos futuros a importação e exportação de dados seja feita de modo sem fio. Possibilita, ainda, a criação de um aplicativo para *smartphone*, no qual o bastão pode ser constituído apenas com módulo *bluetooth*, leitor RFID e Arduino, nesse caso, quando feita a leitura de um brinco, o leitor enviará o número para o aplicativo, possibilitando o gerenciamento dos dados no dispositivo móvel.

Foi desenvolvido uma bateria com quatro células de lítio com tensão de 3,7 volts, duas células ligadas em paralelo e duas em série. Com isso se obteve uma tensão de saída de 7,4 volts, a bateria pode ser carregada com uma fonte de 9 volts. O sistema necessita de 5 volts, o que trouxe a necessidade de utilizar um regulador de tensão 7805 que diminua a mesma para 5 volts, nos testes a bateria teve autonomia de mais de 10 horas.

Figura 8. Circuito do Sistema



O sistema foi inserido em um cano de PVC 50mm e a bateria em um de 40mm. Foi utilizado também tampas e uma redução de 50mm para 40mm. Com isso, o leitor ficou com o formato de bastão, como pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9. Bastão



Na Figura 10 é apresentado o trecho do código responsável pela leitura do brinco RFID. A primeira parte do código realiza um *loop* de leitura caso o leitor de rádio frequência já esteja disponível ocorre a leitura do brinco que é salvo, o número do brinco também é exibido no *display LCD*.

No momento da leitura os dados recebidos do leitor RFID são em base hexadecimal o que dificulta o armazenamento e gerenciamento dos dados, então são convertidos para *byte* em seguida convertidos para *char* e por fim convertidos para uma *string* onde são salvos nesse formato.

Figura 10. Trecho de código que realiza a leitura do brinco RFID

```

71 //Caso o Leitor de RFID esteja disponível, realiza o loop interno.
72 //Cada vez que o loop interno terminar, retorna ao loop principal
73 if (RFID.available() > 0)
74 {
75     delay(100);
76     lcd.clear();
77     lcd.print("NUMERO DO BRINCO");
78     lcd.setCursor(0, 1);
79     //Enquanto o leitor estiver disponível, realiza a leitura
80     while (RFID.available() > 0) {
81         c = RFID.read(); // C recebe os dados do Leitor
82
83         // Envia o valor para o char C
84
85         Serial.write(c);
86     }
87
88 }

```

Quando um brinco é lido o seu número é armazenado na tabela “rebanho” no banco de dados, gerando assim uma tabela com os animais cadastrados. Posteriormente o brinco já pode ser inserido no animal. Após essa etapa o cartão de memória deve ser retirado do sistema e inserido em um computador com algum editor de texto. O administrador do sistema terá no cartão de memória um conjunto de tabelas (que correspondem a cada alerta) onde deverá inserir os códigos dos animais que necessitam de alertas de vacina ou cuidados especiais.

Após a inserção dos códigos correspondentes aos animais nas tabelas de alerta, o cartão de memória deve ser colocado no bastão. Quando o leitor realizar a leitura de um brinco o mesmo é comparado com os códigos que estão nas tabelas de alerta, se o brinco lido estiver em alguma tabela de alerta o sistema emite um sinal sonoro e imprime o alerta na tela do *display* LCD.

A tabela “rebanho” gerada pelo sistema contém o número do brinco, a data e hora que o brinco foi cadastrado no sistema. É possível visualizar algumas linhas da mesma na Figura 11.

Figura 11. Fragmento da tabela “rebanho”

1	900_001000160295	DATA: 05/10/2018	HORA: 15:42
2	900_001000160296	DATA: 05/10/2018	HORA: 15:48
3	900_001000160297	DATA: 05/10/2018	HORA: 15:50
4	900_001000160298	DATA: 05/10/2018	HORA: 16:01
5	900_001000160299	DATA: 05/10/2018	HORA: 16:09

O sistema foi validado em testes no laboratório, com uma quantidade de dez brincos de rádio frequência, no qual o mesmo obteve os resultados esperados. No primeiro instante o sistema gravou os brincos na tabela “rebanho”, logo após foi feita a inserção de alguns códigos de brincos nas tabelas responsáveis por gerar alertas durante a leitura dos brincos. Por fim, quando um brinco foi lido e seu código constava em alguma tabela de alerta, o sistema informava ao usuário por apitos sonoros e mensagem de texto no display de LCD.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um leitor RFID para ler brincos que identificam bovinos. O usuário tem a possibilidade de ler um brinco durante o manejo dos animais, onde os dados são exportados para um sistema ou tabelas digitais. No momento do manejo o sistema irá informar se o bovino possui observações salvas no sistema como: gado precisa de cuidados especiais, animal vacinado, entre outras, possibilitando um maior cuidado do rebanho pelos seus criadores.

O leitor foi confeccionado a partir de uma plataforma de prototipagem de *hardware* livre o Arduino Pro Mini com micro controlador ATmega328P, juntamente com um Módulo leitor/gravador de cartão SD, um leitor RFID, brincos bovinos e alguns outros materiais eletrônicos. O *software* do sistema foi desenvolvido utilizando as práticas da metodologia ágil FDD.

Para trabalhos futuros é proposto a criação de um aplicativo para dispositivos móveis, onde possa ser feito todo o gerenciamento dos dados referentes aos animais podendo também se conectar com algum servidor para exportação dos dados. Surge também a possibilidade de em novas versões do sistema utilizar o trabalho como produto para a pecuária, tendo em vista que o seu uso facilitaria na hora do manejo dos animais e no gerenciamento dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- [1] Allflex. (2015) "Identificação Eletrônica", <http://www.allflex.com.br/identificacao-eletronica/>, maio.
- [2] Arduino. (2018) "An open-source electronics prototyping platform". <http://www.arduino.cc>, maio.
- [3] Boeira, Uriel S; Cantarelli, Gustavo S. (2016) "Desenvolvimento de um *software* para gestão de pecuária", <http://www.unifra.br/eventos/maiseventos/Edicaoanterior.aspx?qtd=6259>, junho.
- [4] Cunha, Alessandro. (2016a) "RFID - Etiquetas com eletrônica de ponta", <https://www.embarcados.com.br/rfid-etiquetas-com-eletronica-de-ponta/>, maio.
- [5] Cunha, Juliana. (2016b) "Internet das coisas com *hardware* livre para identificação de alunos da universidade Tiradentes", <https://periodicos.set.edu.br/index.php/ideiaseinovacao/article/view/3634/1861>, maio.
- [6] Figueiredo, A. M. (2007) "FDD em uma casca de banana", <https://pt.scribd.com/document/34365766/FDD-em-Uma-Casca-de-Banana>, abril.
- [7] FilipeFlop. (2018a) "Figura do Arduino Pro mini". <https://www.filipeflop.com/produto/placa-pro-mini-atmega328p-5v-16mhz/>, abril.
- [8] Filipeflop. (2018b) "Módulo Cartão SD Card", <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-cartao-sd-card/#tab-description>, maio.
- [9] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2009). "High Level Expert Forum - How to Feed the World in 2050". Office of the Director, Agricultural Development Economics Division. Economic and Social Development Department. Roma, Itália, 12 - 13 de Outubro de 2009. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf, abril.
- [10] Korth, H. F. Sudarshan, S; Silberschatz, A et al (2006). Sistema de Banco de Dados. 5a ed. Editora Campus, Rio de Janeiro de 2006.
- [11] Mello, A K. (2013) "Sem Parar - Controle de Acesso Condominial via RFID", http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/3853/1/Adriel%20Kendric%20Monografia%201_2013.pdf, maio.
- [12] MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2006) "Gabinete do Ministro. Instrução Normativa Nº 17, de 13 de Julho de 2006" <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/rastreabilidade-animal/arquivos/in-17-2006.pdf>, maio.
- [13] MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017). "Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018". Brasília, DF: Brasil. Governo Federal, 2017 <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-agricola-e-pecuario>, abril.
- [14] Okey Automação. (2017) "Brincos RFID", <http://www.okey.com.br/idtex/index.htm>, maio.
- [15] Oliveira, Deise Rocha Martins dos Santos. (2011) "SW Agro: Estudo do mercado brasileiro de software para o agronegócio. Estudo do mercado brasileiro de software para o agronegócio". Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.
- [16] Priority 1 Design On-line Shop. "Reader RFID", http://www.priority1design.com.au/shopfront/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=37, abril.
- [17] Puhlmann, Henrique. (2015), "Introdução à tecnologia de identificação RFID", <https://www.embarcados.com.br/introducao-a-tecnologia-de-identificacao-rfid/>, junho.
- [18] RFIDnews. (2009) "ISO 11784/85 "STANDARD" WITH BLEMISH", <http://www.rfidnews.com/ISOstandard/ISOstandard.html>, maio.
- [19] Santos, João Victor. (2013) "Controle de atividades para petshop utilizando RFID", <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/4905/1/20227680.pdf>, maio.
- [20] The Economist. (2016) "Technology Quarterly. The Future Of Agriculture: 1. Factory Fresh e 2. Smart farms: Silicon Valley meets Central Valley. The Economist Newspaper Limited", <https://www.economist.com/technology-quarterly/2016-06-09/factory-fresh>, abril.

Capítulo 22

Aplicação de reconhecimento biométrico e controle de voz em automação²

Diuliano Lixinski Flores

Rafael Ogayar Gomes

Jairo Henrique Wiethan

Guilherme Lamana Carvalho

Fernando Sarturi Prass

Alessandro André Mainardi de Oliveira

Resumo: Com a popularização de tecnologias de automação residencial, o presente trabalho foi realizado no intuito de aumentar a segurança e comodidade daqueles que utilizam desses sistemas. O controle de voz é usado para controlar através do celular as luzes, janelas, ventiladores e portas da casa, usando a API (Application Programming Interface) de reconhecimento de voz da Google. Já o reconhecimento biométrico permite uma maior segurança da residência, permitindo o cadastramento biométrico de usuários que podem destrancar a porta. Ambos utilizam da plataforma de prototipagem Arduino como interface entre o mundo real e os aplicativos criados.

Palavras-chave: Automação, segurança, comodidade.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX, com o surgimento dos novos eletrodomésticos, o conceito de automação residencial já era utilizado como símbolo de um futuro livre das tarefas domésticas. Com o início dos primeiros edifícios nos anos 80, a palavra domótica, que em latim, *domus*, significa casa, passou a ser entendida como uma ciência que estuda a relação homem-casa (Bolzani 2010).

Existem três fatores que devem ser consideradas para se chegar a automação: segurança, conforto e sustentabilidade (Bolzani 2006). O propósito deste trabalho é aumentar o nível de segurança em ambientes microcontrolados e também, manter o usuário sempre atento a sua rotina. O usuário cadastrará as suas principais atividades em um banco de dados, onde mais tarde o aplicativo fará sugestões para tarefas serem efetuadas pela casa, com isso trazendo mais comodidade e segurança em suas atividades.

Atualmente, domótica ou automação residencial são sinônimos e o principal objetivo está no desenvolvimento de recursos para segurança, conforto e entretenimento dentro de nossas casas (Muratori 2005), assim como também, podem ser utilizadas na tentativa de amenizar as dificuldades de portadores de necessidades especiais e idosos.

Sendo assim, os objetivos principais do projeto são aumentar a segurança e comodidade das pessoas em residências que usam de tecnologias de automação, permitindo um fácil acesso as funções da casa mesmo para pessoas com deficiências físicas ou idosos.

2. METODOLOGIA

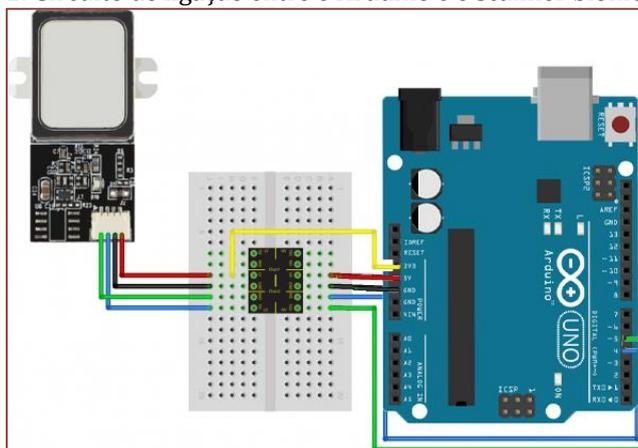
Este projeto teve como base a plataforma Arduino, que utilizou um leitor biométrico, uma *ethernet shield*, um roteador *Wi-Fi* e um celular com sistema operacional Android.

Dois aplicativos Android foram criados, um para realizar o reconhecimento de voz e comandar os aparelhos e funções da casa, e outro para realizar o controle do leitor biométrico e do cadastro de usuários. Ambos programados usando a linguagem de programação Java³.

O Arduino fica conectado ao leitor biométrico e ao *ethernet shield*. O *ethernet shield* é conectado através de um cabo de par trançado CAT 5E ao roteador *Wi-Fi*. O celular conecta-se ao roteador *Wi-Fi* através da conexão *wireless*, a qual é usada para mandar e receber informações da placa Arduino.

O Sistema foi implementado, iniciando da montagem do circuito, do escaner junto com Arduino e *Shield* Internet formam o circuito na Figura 1, onde a *Shield* é acoplada ao Arduino, após é ligado o Sensor ao Arduino iniciando assim o protótipo.

Figura 1: Circuito de ligação entre o Arduino e o scanner biométrico.



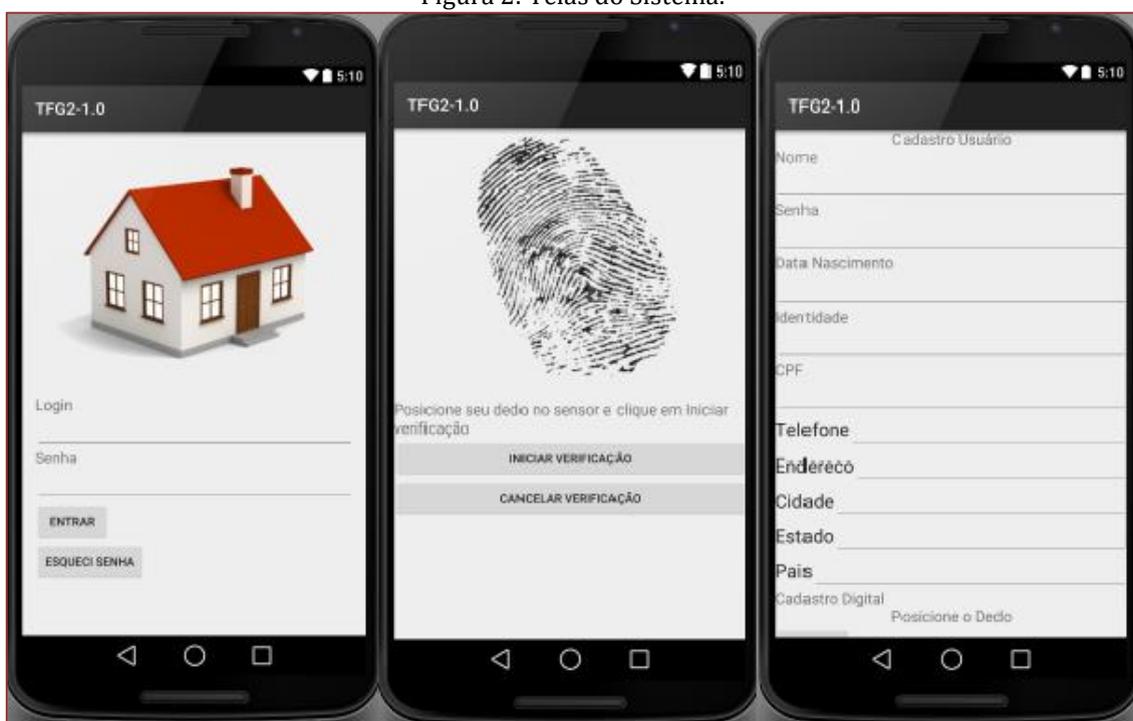
³ Linguagem de programação compilada, criada em 1995 por James Gosling.

Após feito a montagem do protótipo foi iniciada a programação no ambiente Android Studio para o Android. Na Figura 2(a), pode ser visto a tela inicial do sistema onde o usuário digita seu *login* e senha já cadastrados no sistema, então o sistema verifica no banco de dados se os dados informados estão corretos, caso os dados estejam corretos é aberta a tela de verificação de digital Figura 2 (b).

O usuário seleciona a opção Iniciar Verificação, então o sistema inicia um processo enviando comandos para o Arduino. O mesmo inicia a verificação, então o usuário posiciona a sua digital cadastrada no leitor, após o Arduino verificar a digital, retorna a resposta para o sistema onde o mesmo verifica se a digital é a do usuário que efetuou o *login*, utilizando assim a verificação por Autenticação para assim liberar acesso ao usuário, ou negar acesso, após essa verificação o usuário pode utilizar o menu do sistema podendo cadastrar, alterar, excluir usuários e suas atividades.

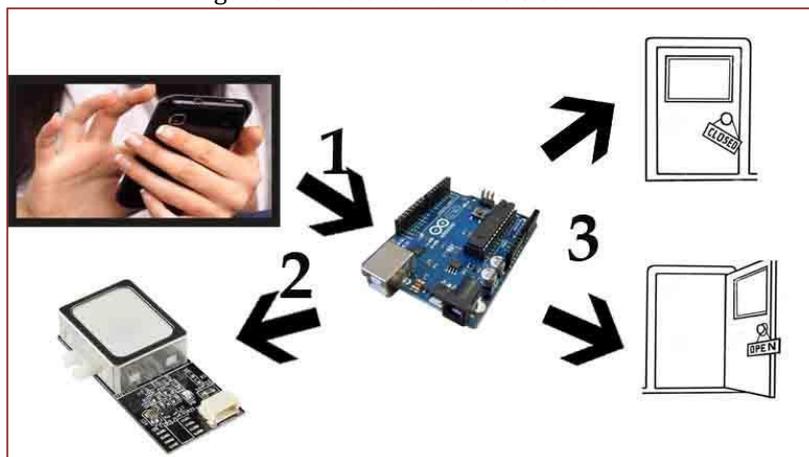
No menu das atividades do usuário, quando é cadastrado uma atividade é registrado a hora a data e o equipamento escolhido para o mesmo, após registrar o sistema automaticamente inicia a verificação de atividades, caso uma atividade esteja na hora e data o sistema então envia uma notificação para o usuário, após o usuário clicar na notificação é acionada uma janela onde é verificado se o usuário quer realizar a atividade ou não, caso seja clicado em sim o sistema então envia para o Arduino a atividade para que seja efetuada por ele, caso seja clicado em não, o sistema sai da aplicação.

Figura 2: Telas do Sistema.



O software final pode ser melhor visualizado na Figura 3, onde é mostrado o funcionamento do software implementado, o usuário digita seu *login* e senha no aplicativo do sistema então posiciona a sua digital no sensor biométrico o Arduino faz o reconhecimento enviando para o Android se a digital está cadastrada ou não, fazendo a liberação da porta ou não.

Figura 3: Funcionamento do sistema.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No atual estado de desenvolvimento do projeto, ele proporciona a seus usuários uma grande vantagem em relação a residências não automatizadas, permitindo um melhor e mais cômodo controle sobre os aparelhos eletrônicos e uma maior segurança na sua moradia.

O sistema funciona em toda a área de cobertura de rede *Wi-Fi* da residência, podendo chegar a centenas de metros, o que permite uma boa mobilidade aos usuários e ao mesmo tempo impede o controle indesejado a longas distâncias, o que aumenta a segurança contra possíveis tentativas de invasões na rede.

Serão adicionados futuramente mais funções, como um histórico de comandos realizados e uma inteligência artificial para controlar as funções da casa sem a necessidade da intervenção humana, a qual aprenderá com os dados gravados no histórico de comandos.

4. CONCLUSÃO

O trabalho mostra a implementação de um aplicativo para controle de acesso e também controle de atividades em ambientes microcontrolados. Faz uso de equipamentos como Arduino, sensores e atuadores, que disponibilizarão dados a uma aplicação Android que será executada através do celular, ambos serão conectados à rede utilizando a *Shield* Internet.

A principal contribuição deste trabalho foi elevar a segurança em residências, e a melhor realização de atividades pelo usuário, utilizando equipamentos acessível e que se diferenciem dos trabalhos já concluídos. Com o estudo de caso efetuado em um ambiente microcontrolado foi analisado a melhora na segurança e na comodidade do usuário em utilizar todo o ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] BOLZANI, C. A. M.; Montagnoli, C.J.; LOBO NETTO, Marcio. Domotics Over IEEE802.15.4 - A Spread Spectrum Home Automation Application. In: 2006 IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, 2006, Manaus. 2006 IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, 2006. p. 396-400.
- [2] BOLZANI, C. A. M. Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de uma Plataforma para Residências Inteligentes. 2010. 155p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
- [3] MURATORI, J. R. As tendências do mercado de Automação Residencial. Congresso Habitar. In: CONGRESSO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL E TECNOLOGIAS PARA HABITAÇÃO. 2005. São Paulo.

Autores

ABINEY LEMOS CARDOSO

Doutorado em Agroquímica pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil(2011). Professor EBTB do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo , Brasil.

ADRIANA SCHILIVE DE SOUZA

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Energia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Com Graduação em Tecnologia em Eletrotécnica pela UTFPR (2008) e Graduação em Engenharia Eletrotécnica pela Universidade Tuiuti do Paraná (2016). Experiência na área de projetos elétricos industriais e residenciais, também como educadora profissionalizante atuando no ensino técnico e na área de geração de energia elétrica no despacho de usinas hidrelétricas e eólicas conectadas ao SIN, pesquisadora da área de sistema de armazenamento de energia e energias renováveis.

ALESSANDRA BRANDANI BIGGI

Graduação na área de Engenharia Têxtil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) (2006). Possui Especialização na área de Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) (2010). Possui mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (2013). Possui Doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho. É Professora Adjunta Tide na Universidade Estadual de Maringá (UEM) no curso de Engenharia Têxtil.

ALESSANDRO ANDRÉ MAINARDI DE OLIVEIRA

Graduado em Engenharia Elétrica pela UNIJUÍ em 2004, Mestre em Engenharia Elétrica pela UFSM em 2007, Professor da Universidade Franciscana nos cursos de Ciência da Computação, Sistemas de Informação e Engenharias.

ALESSANDRO MAINARDI DE OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (2004) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2007). Atualmente é Professor nos cursos de Ciência da Computação, Sistemas de Informação e Engenharia Biomédica da Universidade Franciscana - UFN,

ALEXANDRE CAMACHO DA PAIXÃO

Mestre em Engenharia pela UFF, Pós-graduado em Gerenciamento de Projetos pela Escola Politécnica da UFRJ, Especialista em Projeto de Válvulas Industriais pela USP/PROMINP, Graduação em Engenharia de Produção pela UVA e Técnico em Mecânica. Atuação como coordenador de curso das instituições: SENAI CETIQT, UVA e ESTÁCIO. Experiência como professor de graduação no SENAI CETIQT, UVA, UNIGRANRIO, UNICARIOCA e UNIESP. Experiência de 15 anos em Gestão de Projetos, com atuação em: Planejamento Programado de Parada de Plataformas da PETROBRAS, Planejamento e Controle para o Processo de Inspeção da Regional Sudeste, Manutenção de Tanques e Esferas TRANSPETRO, Planejamento de Avaliações Técnicas de Fornecedores da PETROBRAS, Expansão e comercialização do Gás Natural no Rio de Janeiro, Projetos da área de Facility e Projeto Industrial (Logística/Processos).

ANA BEATRIZ BARROS SOUZA

Engenheira Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 2018. Foi membro do Projeto de Extensão Motostudent, de maio 2015 a dezembro de 2016. É mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), desenvolvendo pesquisa em energia renovável armazenada na forma de hidrogênio para aplicação veicular no escopo dos projetos de P&D desenvolvidos pela CESP e FURNAS da chamada estratégica nº 21 da ANEEL/2016. Atualmente é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos

da Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP, com pesquisa em fontes renováveis de energia e sistema de armazenamento de energia elétrica com uso de hidrogênio e baterias íon-lítio.

ANA MARIA MOREIRA FERREIRA ROCHA

Professora do Departamento de Engenharia Têxtil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal. Doutorado e Licenciatura em Engenharia Têxtil, pela Universidade do Minho.

ANDRÉ PEDRO FERNANDES NETO

Engenheiro Eletricista desempenha a profissão de professor da UERN (Universidade do Estado do Rio Grande do Norte) e UFERSA (Universidade Federal do Semiárido), com o título de Doutor em Engenharia Elétrica e Computação (PPgEEC) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), lotado no Departamento de Informática (DI - UERN) e no CENTRO DE ENGENHARIAS (CE - UFERSA). Ministra as disciplinas de Transmissão de Dados, Circuitos Eletrônicos e Dispositivos Semicondutores, Gestão de Manutenção e Confiabilidade e Automação na Produção. No setor privado exerci a função de engenheiro consultor em telecomunicações pela OI - TELEMAR, sendo o engenheiro responsável pela operação e manutenção na região oeste potiguar.

ANGELA ESTER MALLMANN CENTENARO

Professora da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT. Doutora e Mestre em Ciências Sociais pela UNISINOS, Linha de Pesquisa: Cooperativismo e Associativismo. Coordenadora do Programa de Formação de Células de Aprendizagem Cooperativa-FOCCO - UNEMAT/Sinop-MT

ANNA GABRIELA BRASIL LÉDA

Graduada em Engenharia Civil pela UNDB Centro Universitário, pós graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Navigare. Tenho cursos na área de Gerenciamento de Projetos, Gestão de Projetos, Gestão de Qualidade, Planejamento e Controle de Produção, Planejamento Estratégico na Prática e atualmente sou Secretária Adjunta na SEINC (Secretaria de Indústria, Comércio e Energia do Maranhão).

ANTÔNIA SÔNIA ALVES CARDOSO DINIZ

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1981), bacharelado em Física pela Universidade Federal de Minas Gerais (1980), doutorado em Materials Science and Engineering na University of Liverpool (1995) e pós-doutorado na Arizona State University, no Photovoltaic Reliability Laboratory (2013), financiado pela CAPES. Trabalhou 28 anos na Companhia Energética de Minas Gerais, como engenheiro senior especialista. Atualmente é professor adjunto IV, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e coordenadora do Grupo de Estudos em Energia - GREEN Solar-PUC Minas. Atuou como representante do Instituto Politécnico ? IPUC no Conselho de Pesquisa Ensino e Extensão da PUC Minas, como diretora da Sociedade Mineira de Engenheiros e como editor associado da revista Renewable and Sustainable Energy Review Journal (Elsevier). Atua como consultora ad hoc da CAPES, como membro do Editorial Board da revista Journal of Photovoltaics (IEEE), e da revista Materia. Participa dos comitês internacionais das conferências Photovoltaic Specialist Conference - IEEE e World Renewable Energy Congress. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica e ciências dos materiais, com ênfase em energias renováveis, atuando principalmente nos seguintes temas: energia solar fotovoltaica:desempenho elétrico e degradação em módulos fotovoltaicos e em sistemas fotovoltaicos isolados e conectados a rede elétrica (Reliability and Durability), energia solar térmica, eficiência energética, geração distribuída e sistemas elétricos de potência. Tem ampla experiência em gestão de P&D&I.

ANTONIO MARCOS FERNANDES FILHO

Possui graduação em Engenharia de Energia pela Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA) (2016) e graduação no Bacharelado em Ciência e Tecnologia pela UFERSA (2015). Possui mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFERSA (2019). Foi professor substituto na área de matemática no DCEN-UFERSA. Atualmente é professor EBTB efetivo no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Tem interesse nas áreas de sistemas elétricos de potência e de fontes alternativas de energia.

ARNALDO HENRIQUE DE OLIVEIRA CARVALHO

Doutorado em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil(2018). Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo , Brasil.

BENVINDO SIRTOLI GARDIMAN JUNIOR

Doutorado em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil(2018). Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Espírito Santo , Brasil

CÁSSIO JHONATAN GAMARRA OLEGÁRIO

Cursando Ciência da Computação na Universidade Franciscana (UFN)

CLAUDEMIR GOMES DE SANTANA

Químico Bacharel pela Universidade Federal do Maranhão, com mestrado e doutorado em química analítica ambiental pelo Instituto de Química de São Carlos-USP, com publicação de patente em descontaminação ambiental; várias participações em bancas de graduação e pós-graduação e vários artigos científicos e capítulos de livros publicados; Experiência no segmento industrial em especialidades químicas, com foco em tratamento de água industrial, nos controles de: corrosão, incrustação e crescimento microbiológico, controle de qualidade de água industrial; consultor em projetos de gestão ambiental e professor universitários nos curso de graduação e pós-graduação em Instituições pública e privada .

CLUYVERTH WILLIAM ALBUQUERQUE PEREIRA

Graduando em Engenharia de Controle e Automação pela UniFBV e Graduando de Engenharia Eletrônica pela UFRPE-UACSA. Possui experiência com trabalho em equipe, liderança em projetos acadêmicos e inglês em nível intermediário. Interessa-se por engenharia biomédica, engenharia clínica, energias renováveis, IOT, Automação e cultura maker.

CRISTIANA BRASIL MAIA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela UFMG (1997), mestrado em Engenharia Mecânica pela UFMG (2000) e doutorado em Engenharia Mecânica pela UFMG (2005). Atualmente é professor adjunto IV da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Ocupou cargo de coordenadora do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica de agosto de 2016 a janeiro de 2020. Trabalhou como auditora de ensaios em equipamentos de sistemas térmicos. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Sistemas Térmicos e Fluidos, atuando principalmente nos seguintes temas: Energia Solar, chaminé solar, secagem solar, túnel de vento e CFD.

CRISTINA DE CARVALHO ARES ELISEI

Doutora em Engenharia Mecânica na Especialidade de Propriedades Mecânicas dos Metais e Ligas pela UNESP. Diretora há 12 anos na Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba - Centro Paula Souza. Empenhada em Estudos relacionados à Educação e Formação Profissional.

DANIELLE CRISTINA DOS SANTOS LISBOA

Engenheira Civil pelo Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, Tecnóloga em Gestão de Pequenas e Médias Empresas e Técnica em Meio Ambiente com experiência em pesquisas científicas na área de saneamento e materiais.

DEBORAH MORAES ZOUAIN

Professora do programa de pós-graduação em Administração na Universidade do Grande Rio. Doutora em Engenharia de produção. Mestre em Educação. Bacharel em administração e direito.

DEMOSTENES BARBOSA DA SILVA

Graduações: em Física pela Universidade Federal de Goiás (1979), em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás (1980), Mestrado em Energia pela Universidade de São Paulo (1992) e Doutorado em Ciências pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia pela Universidade de São Paulo (2016). Desenvolveu sua carreira profissional no Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (6 anos: 1981 – 1983, e, 1993 – 1997), em Concessionárias de Energia Elétrica (19 anos: 1984 – 1993, e, 1999 – 2010). Atualmente é presidente da BASE Energia Sustentável, empresa dedicada ao desenvolvimento e assessoramento de seus clientes na busca por soluções para áreas de infraestrutura em geral, e de energia em particular, voltadas para a compatibilização de projetos e investimentos dentro dos parâmetros de sustentabilidade, ambiental e socioeconômica, com foco na preservação dos recursos da natureza, orientação imperativa na nova era de atividades econômicas e sociais globais, que se tem denominado como era de economia verde ou economia sustentável. Desenvolveu e implantou o projeto brasileiro que desenvolveu e obteve aprovação de metodologia aprovada pela ONU, para o cálculo de remoções de CO₂ da atmosfera pelo crescimento de florestas de espécies nativas, em restauração de Áreas de Preservação Permanente (APPs). A metodologia foi aplicada para restaurar a cobertura vegetal nativa de margens de reservatórios de usinas hidrelétricas. Iniciou o projeto suportado financeiramente pelo Global Environmental Facility (GEF), com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica e econômica da utilização de excedentes sazonais de energia hidrelétrica no Brasil, para gerar hidrogênio eletrolítico, e utilizá-lo como combustível limpo no transporte rodoviário urbano de pessoas na metrópole de São Paulo. Desenvolve atualmente os dois maiores projetos de pesquisa e desenvolvimento de armazenamento de energia, sob a forma de hidrogênio e em baterias de Lítio, junto a usinas hidrelétricas

DIANA RODRIGUES HENRIQUES LEMOS

Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil(2008) Graduanda em Engenharia Ambiental e monitora em projeto de pesquisa pelo Instituto Federal do Espírito Santo campus Ibatiba , Brasil.

DIULIANO LIXINSKI FLORES

Tem experiência na área de Ciência da Computação.

ELIANE SOUZA DE OLIVEIRA SARKIZ

Graduação em Engenharia de Produção pela UNESA; Técnica em Segurança do Trabalho pelo Centro Educacional Victor e Wladimir. Tem 10 anos de experiência como técnica de Segurança do Trabalho.

ÉLIDA FERNANDA XAVIER JÚLIO

Professora adjunto do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA), tendo orientado projetos utilizando energia solar. Graduada em Engenharia Elétrica, com ênfase em Eletrotécnica, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre e Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

EMERSON TORRES AGUIAR GOMES

Docente do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, pesquisador do Centro de Energias Renováveis-CER. Mestre e Doutor pela UFPE com ênfase em concentração solar térmica e geometria aplanática. Atuou como professor adjunto da UFRPE de 2014 a 2020 e como coordenador do curso de Engenharia Eletrônica de 2014 a 2016 tendo coordenado projeto de extensão de purificação de água por meio de luz ultravioleta com uso de energia solar.

ENNIO PERES DA SILVA

Bacharel em Física pela USP em 1977, Mestre em Física pela UNICAMP em 1981 e Doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP em 1989. Professor Doutor no Instituto de Física da UNICAMP de 1981 a 2015. Coordenador do Laboratório de Hidrogênio da UNICAMP desde 1983. Professor do Curso de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da FEM/UNICAMP desde 1991, onde orientou 21 doutorados e 16 mestrados. Coordenador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE) da UNICAMP de 2002 a 2005, onde atualmente é pesquisador colaborador. Desde 1978 atua nas áreas de produção, tratamento, armazenamento e aplicações energéticas (veiculares e estacionárias) e não energéticas do hidrogênio e na utilização das fontes renováveis de energia, com ênfase em seus aspectos tecnológicos e de redução das emissões de gases de efeito estufa. Coordenou e executou um grande número de projetos de P&D em parceria e sob demanda de empresas, instituições públicas e organizações sociais. Entre julho/2017 e janeiro/2021 foi o coordenador do projeto de P&D Aneel PD-00061-0054/2016 da CESP sobre armazenamento de eletricidade e desde maio/2018 assessora o projeto de P&D Aneel PD-00394-1606/2016, com a mesma temática.

EVANDRO CARDOZO DA SILVA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade do Estado de Santa Catarina (1990) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (1994). Atualmente é professor Associado II da Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico de Joinville. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Materiais e Processos de Fabricação envolvendo CAD/CAE. Concluiu em 26/2/2008 o doutorado em Engenharia Mecânica na UNICAMP com o tema de tese : "Análise Numérica do Processo de Conformação de Chapas por Jateamento de Esferas". Os temas envolvidos com o trabalho são os seguintes: shot peen forming, modelagem de processos, análise de elementos finitos, tensão residual, simulação numérica. Ministra atualmente Desenho e Modelagem Geométrica e Representação Gráfica. Foi coordenador do Curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária do Centro Tecnológico de Joinville até novembro de 2020.

FABIANA KARLA DE OLIVEIRA MARTINS VARELLA GUERRA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar (UnP) (2001), mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (2004) e doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos pela UNICAMP (2009). Atualmente é Professor Associado II do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA) e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE-UFERSA). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Planejamento de Sistemas Energéticos, atuando principalmente com energias alternativas renováveis, energia solar térmica, energia solar fotovoltaica e eficiência energética.

FÁBIO REZENDE COSTA

Pós-Graduação Lato Sensu - Especialização em Docência na Educação Profissional e Tecnológica; Licenciatura Plena em Formação Pedagógica para Formadores da Educação Profissional; Graduação em Desenho Industrial (Design de Produto); Técnico Eletromecânico / ensaios em equipamentos para energias renováveis - PucMinas / GREEN.

FABRICIO VIANA ANDRETTI

Sócio proprietário da TC TARGET Consulting. Doutorado em Engenharia Ambiental pela UERJ, Mestrado de logística e supply chain management pela PUC-Rio e mais 3 pós-graduações lato sensu: o MBA em gestão empresarial pela FGV; o MBA em Gestão Estratégica de serviços pela ESPM e o MBA em petróleo e gás pelo IBP. Formação Black Belt Lean Six Sigma, Auditor líder de Sistema de Gestão Integrada (ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, API Q1, API Q2).

FELIPE CÉSAR FRAZÃO CORREIA

Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Possui curso de modelagem 3D promovido pela Empresa Júnior Potencialize, curso Arduino Básico promovido pela Empresa Júnior Potencialize, curso de Python na Prática promovido pela Empresa Júnior Potencialize, curso de Inglês nível pré-intermediário 1, participação da 22ª edição do Ciência Jovem.

FELIPE MALLMANN CENTENARO

Graduado em Ciências Econômicas pela Universidade do Estado de Mato Grosso e ex-bolsista do Programa de Formação de Aprendizagem Cooperativa - FOCCO - UNEMAT-Sinop

FERNANDA FREITAS GALOTE DE SOUZA

Servidora pública de carreira na Prefeitura Municipal de Ibatiba, possui experiência na área de Saúde Coletiva, com ênfase em Saúde Pública, Técnica em Meio Ambiente pelo do Instituto Federal do Espírito Santo, graduanda em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Ibatiba, Brasil.

FERNANDO SARTURI PRASS

Bacharel em Sistemas de Informação (UNIFRA - 1999), Mestre em Ciências da Computação (UFSC - 2004). Atualmente é Diretor da FP2 Tecnologia, Consultor de Business Intelligence e Professor na Universidade Franciscana (UFN), onde também exerce a função de Coordenador do Laboratório de Práticas, responsável pela aproximação entre o meio acadêmico e o empresariado local.

FRANCISCO JOSÉ SOMBRA JÚNIOR

Aluno de Engenharia Elétrica na Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA) e Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) (2015). Na área profissional atua como eletricitista predial e na acadêmica como bolsista PIVIC na pesquisa sobre tecnologias alternativas para a cocção de alimentos através da energia solar.

FRED SIZENANDO ROSSITER PINHEIRO

Engenheiro Eletricista com experiência de 26 anos na TELECOMUNICAÇÕES DO RIO G. DO NORTE SA e TELENORTE LESTE SA (OI) , onde exerceu atividades nas áreas de : projeto, implantação, operação, manutenção, planejamento e controle de sistemas de Telecomunicações. Atualmente Professor Associado da UFRN , vinculado ao Departamento de Engenharia de Comunicações . Faz pesquisas na área de RNI (Radiação Não Ionizante) .Membro do Núcleo Docente Estruturante (NDE) E DO COLEGIADO do curso de Engenharia de Telecomunicações da UFRN.

FREDERICO BRAIDA

Graduado em Arquitetura e Urbanismo (UFJF, 2005). Especialista em Docência no Ensino Superior (FESL, 2019). Especialista em Moda, Cultura de Moda e Arte (UFJF, 2015). Mestre em Urbanismo (UFRJ, 2008). Mestre, Doutor e Pós-doutor em Design (PUC-Rio, 2007; 2012; 2015). Pós-doutorando em Matemática (UTFPR, desde 2019). Professor Associado do Departamento de Projeto, Representação e Tecnologia, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Juiz de Fora. Professor Permanente dos Programas de Pós-Graduação em Ambiente Construído e em Comunicação. Líder do Laboratório de Estudos das Linguagens e Expressões da Arquitetura, Urbanismo e Design (UFJF/CNPq).

FREDERICO GIRARDON HARTMANN

Cursando Ciência da Computação na Universidade Franciscana

GALILEO ADELI BURIOL

Doutorado em Bioclimatologia Vegetal pelo Université Paris Diderot, França(1983) Professor no Pós-Graduação em Agrobiologia da Universidade Federal de Santa Maria , Brasil

GERIEL APOLINARIO DA CUNHA

Tecnólogo em Processos Metalurgicos pela Faculdade de Tecnologia (FATEC), monitor do laboratório de metalografia da faculdade por 800 horas, autor do livro "Análise e Comparação da Microestrutura da ZTA em Cortes Industriais" e atualmente atuo como técnico de manutenção preditiva em uma indústria siderúrgica.

GISÉLIA ALVES DE SOUZA

Possui graduação em Engenharia Mecânica (2000) e Mestrado em Engenharia Mecânica (2008) pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - FEG - UNESP. Atuou como professora substituta nos Cursos de Engenharia Mecânica e de Materiais na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - FEG - UNESP (2014-2015). Atualmente é professora nos cursos Tecnologia em Processos Metalúrgicos; Tecnologia em Mecânica - Processos de Soldagem e Projetos Mecânicos da Faculdade de Tecnologia - FATEC - Pindamonhangaba. Atua na área de Engenharia de Materiais e Metalurgia, com ênfase em Tratamentos Térmicos e caracterização microestrutural de materiais metálicos.

GUILHERME DE OLIVEIRA MENDES OHIRA

Graduando em Engenharia de Bioprocessos pela Universidade Federal de Itajubá

GUILHERME LAMANA CARVALHO

Graduado em ciência da computação pela universidade franciscana UFN e mestrando pela universidade federal de Santa Maria UFSM.

GUSTAVO GARCIA PEREIRA

Graduado em ciência da computação pela Universidade Franciscana(ufn), atuando na área como programador. Membro Voluntária da liga brasileira de Bioinformática(lbb), atuando como programador.

GUTEMBERGUE SOARES DA SILVA

Engenheiro Eletricista pela UFRN, com experiência de 29 anos em planejamento e projetos de sistemas de telecomunicações, exercidos na TELECOMUNICAÇÕES DO RIO GRANDE DO NORTE-TELERN, possui Doutorado em Engenharia Elétrica pela UFRN, Mestrado pela Universidade Federal

do Rio de Janeiro em Engenharia Elétrica, MBA em Marketing pela FGV_RJ, Especialização em Telecomunicações pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Graduação em Economia pela UFRN. Atualmente vinculado ao Departamento de Engenharia de Comunicações-DCO do Centro de Tecnologia da UFRN, tem larga experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em telecomunicações e gestão de empresas de tecnologia.

HÉLIO NUNES DE SOUZA FILHO

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (2017). Atualmente é mestrando no Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos na Unicamp. Na graduação desenvolveu pesquisas utilizando a técnica de adsorção em soluções sintéticas para remoção de corantes reativos através do uso de argilas obtendo como resultado as isotermas de adsorção e o cálculo do fator de separação, operações unitárias e cálculo de reatores. No mestrado, desenvolveu estudos na área de hidrogênio especificamente no uso da tecnologia de power-to-gas, com produção de hidrogênio através da energia elétrica de fontes renováveis e sua injeção na rede de gás natural. Atualmente iniciou os estudos no doutorado no Programa de Planejamento de Sistemas Energéticos na Unicamp desenvolvendo estudo na área de hidrogênio verde e sua cadeia produtiva no país.

HUGO BERTORCELI BUQUERONI

Agricultor no município de Mimoso do Sul, Técnico em agropecuária pelo MEPES, ex graduando de engenharia ambiental pelo IFES Campus Ibatiba e ex graduando em Ciências Biológicas pela UFRJ.

ICARO CHAGAS

Graduando em Arquitetura e Urbanismo (UFJF). Pesquisa representação gráfica, linguagens de representação gráfica em arquitetura, design gráfico, processos comunicacionais em arquitetura na era digital e imagens fotorrealísticas. Participante do Laboratório de Estudos das Linguagens e Expressões da Arquitetura, Urbanismo e Design (UFJF/CNPq). Desenvolve imagens para apresentação de projetos arquitetônicos e atua como designer gráfico.

JAIR URBANETZ JUNIOR

Professor TITULAR na UTFPR no Departamento de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Curitiba, desde 1996. Doutor na área de Sistemas Fotovoltaicos pela UFSC (2010); Mestre em Eletrônica de Potência e Acionamento Elétrico pela UFSC (2002); Especialista em Gerência da Engenharia de Manutenção pela UTFPR (1999); Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR (1995) e Técnico em Eletrônica pela UTFPR (1986). Também é Coordenador do Curso de Pós Graduação a nível de Especialização em Energias Renováveis e Professor no Programa de Pós Graduação em Sistemas de Energia (PPGSE) a nível de Mestrado, e no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) a nível de Mestrado e Doutorado. Autor do livro ELETRÔNICA APLICADA (2010), e do ATLAS DE ENERGIA SOLAR DO ESTADO DO PARANÁ(2017). Pesquisador pela UTFPR no Grupo de Pesquisa em Energia Solar e Sistemas Fotovoltaicos, no Grupo de Pesquisa em Eletrônica de Potência e no Grupo de Pesquisa Tecnologia e Meio Ambiente. Pela UFSC é pesquisador no Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar. Colabora na coordenação do Laboratório de Energia Solar – LABENS da UTFPR e atua como pesquisador no projeto de pesquisa para determinação do potencial de radiação solar e fotovoltaico no estado do Paraná, parceria entre ITAIPU / PTI / INPE / UTFPR.

JAIRO HENRIQUE WIETHAN

Tem experiência na área de Ciência da Computação.

JANAÍNA DE OLIVEIRA CASTRO SILVA

Doutora em Engenharia Mecânica na área Térmica e Fluidos (2018), Mestre em Engenharia Mecânica (2014) e Engenheira Mecânica ênfase Mecatrônica (2012) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Possui experiência na Área de Térmica e Fluidos, atuando principalmente nos seguintes temas: energia solar, chaminé solar, modelagem matemática, análise energética e exérgica, otimização e simulação numérica utilizando técnicas de CFD.

JEFERSON DA SILVA DOS SANTOS

Graduado em Engenharia Civil. Ex-bolsista do Programa de Formação de Células de Aprendizagem Cooperativa - UNEMAT-Sinop.

JEFFERSON MARCON FRIGO JUNIOR

Cursando Ciência da Computação na UFN (Universidade Franciscana), atualmente. Já atuou em estágio no desenvolvimento de software C# e outras linguagens.

JIVAGO SCHUMACHER DE OLIVEIRA

Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria, Brasil(2018) Professor Assistente IV da Universidade Franciscana , Brasil

JOÃO CARLOS MONTEIRO DE CARVALHO

Possui doutorado (1994) em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor titular da Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, com ênfase em Ciência de Alimentos, atuando principalmente nos seguintes temas: produção de biomassa microbiana e seus metabólitos. Atualmente é professor titular da Universidade de São Paulo. Foi chefe do Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica (FBT) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas (FCF) no período de maio de 2015 a maio de 2019. É presidente da Comissão Interna de Biossegurança. Foi coordenador do Centro de Memória da FCF.

JOÃO PAULO DOS SANTOS PEREIRA

Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. Possui interesse em Energias Renováveis com ênfase em Energia Solar e estudo da aplicação de Filtros Eletrônicos, como áreas de pesquisas.

JOVANI CASTELAN

Coordenador Geral e Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica da Faculdade SATC (Criciúma/SC). Graduado em Licenciatura em Desenho (UDESC), Especialista em Automação Industrial (CTAI/UFSC); Especialista em Design (SATC/UFSC); Doutor em Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia (LdTM/PPGE3M/UFRGS), na linha de pesquisa de Engenharia Biomédica, com titulação de PhD validada pela Universidade de Aveiro/Portugal

JUAREZ CORRÊA FURTADO JÚNIOR

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (2012). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica. É mestre em Engenharia de Energia na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com linha de pesquisa em conversão de energia, aproveitamento da biomassa sucroalcooleira, e otimização de biorrefinarias. Atualmente, é doutorando do Programa de Pós Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos da FEM/UNICAMP, com pesquisa em rotas tecnológicas de armazenamento de energia, e introdução de sistemas de armazenamento de energia junto ao setor elétrico.

JULIANA D'ANGELA MARIANO

Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil na (UTFPR), campus Curitiba, Mestre em Engenharia Civil pela UTFPR (2017), Graduada em Tecnologia em Eletrotécnica pela UTFPR (2010), e Técnica em Eletrotécnica (2007) pela UTFPR. É pesquisadora pela UTFPR no Grupo de Pesquisa em Energia Solar e Sistemas Fotovoltaicos (LABENS) e no Instituto Lactec. Atuou como pesquisadora voluntária no projeto de pesquisa para determinação do potencial de radiação solar e fotovoltaico no estado do Paraná, parceria entre ITAIPU / PTI / INPE / UTFPR. Tem experiência com projetos elétricos prediais, comerciais e industriais e de subestações. As principais áreas de interesse são: Energia Solar Fotovoltaica, Energias Renováveis, Sustentabilidade e Educação Ambiental.

JUSCELINO ALVES HENRIQUES

Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil(2019) Presidente do Colegiado da Eng Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Ibatiba , Brasil.

LAYSA GOMES OSÓRIO

Técnica Florestal pelo Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Graduanda em Medicina pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

LETÍCIA ANDRESSA RICHTER

Engenheira Ambiental e Sanitarista - Universidade Franciscana - UFN

LILIANE BELLO PAREDES

Bacharel em Administração de empresas, pós-graduada em assessoria executiva e mestranda em Administração na Universidade do Grande Rio. Mais de 15 anos de experiência em multinacionais nas áreas de finanças e gestão de projetos no setor de aviação e óleo e gás.

LUAN ANDERSON TEIXEIRA LIMA

Engenheiro de Telecomunicações e Pós Graduando em Gestão Dinâmica de Projetos pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

LUCAS NADLER ROCHA

Formado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, cursando Sistema de Informação pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Com habilidades em linguagem de programação C , além de experiência com pesquisa científica na área de materiais e saneamento.

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.

MARCELO CHUEI MATSUDO

Professor da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) na área de Microbiologia e Biotecnologia, doutor (2010) em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica (área de Tecnologia de Fermentações) pela Universidade de São Paulo. Realizou Pós-doutorado na Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, no grupo de pesquisa do Prof. Dr. João Carlos Monteiro de Carvalho, com bolsa PNPd-Capes (2011 a 2013); e Pós-doutorado na Universidade de Liège (Bélgica) no Laboratório de Genética e Fisiologia de Microalgas, sob supervisão do Dr. Pierre Cardol (2019). Tem experiência na área de Microbiologia e Biotecnologia, com ênfase em Microbiologia Industrial / Tecnologia de Fermentações e Biotecnologia de Microalgas.

MARCONE FREITAS DOS REIS

Consultor e Professor da graduação na UNESA. Doutorando e Mestre em Engenharia Civil pela UFF; Especialista em Gerenciamento de Projetos pela UERJ; Graduação em Engenharia de Produção pela UERJ e Graduando em Engenharia Civil pela UNESA. Tem 11 anos de experiência em indústrias, com expertise nas áreas de Produção, Logística, Gestão da Qualidade e Lean Manufacturing e 8 anos de experiência em Gestão de Projetos no setor de Petróleo e Gás natural em Gestão de Manutenção de plataformas offshore.

MARIANA ALVES ZANCANELI

Graduada em Arquitetura e Urbanismo (UFJF, 2017). Mestra em Ambiente Construído (UFJF, 2020). Pesquisa representação gráfica, processos comunicacionais em arquitetura na era digital e imagens fotorrealísticas. Desenvolve imagens digitais fotorrealísticas para apresentação de projetos arquitetônicos, além de ministrar cursos sobre o tema.

MATEUS MENDONÇA DE MELO

Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Brasil. Experiência acadêmica na área de Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Ibatiba, como ex discente e monitor de projetos de pesquisa e extensão.

PATRÍCIA DA SILVA DE SOUZA

Especialista em Segurança do Trabalho pela FAVENI; Graduação em Engenharia de Produção pela UNESA. Tem 7 anos de experiência como Técnica de Enfermagem na Prefeitura Municipal de Belford Roxo - RJ e 6 anos de experiência pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro - RJ no Instituto Estadual Cérebro.

PAULO FONSÊCA MARINHO JÚNIOR

Mestrando em Engenharia Mecânica linha de formação em Sistemas Térmicos e Fluidos pela PUC Minas. Guest Student na FH Aachen University of Science Applied no mestrado de Sistemas Energéticos e na RWTH no mestrado de Engenharia Automotiva, ambas na Alemanha nos anos de 2015 e 2016 ; no Brasil, graduou pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Mecatrônica. Atuou na linha de pesquisa em iniciação científica com Energia Solar, atualmente viabiliza seu mestrado para pesquisa com Chaminés Solares para dessalinização de águas de minério e trabalha também como professor particular de inglês e física, já tendo atuado como colunista voluntário do Jornal Circuito Notícias de Brumadinho - MG.

RAFAEL OGAYAR GOMES

Graduado em Sistemas de Informação, Especialista em Metodologia de Ensino Superior e EAD, Mestre em Ciência da Computação na Área de Microeletrônica e Processamento de Sinais, Atualmente é Doutorando em Informática na Educação (Bolsista CAPES) e Professor (Instituto Federal Farroupilha), já atuou bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Brasil). Experiência na área de Domótica, Robótica para Educação, Automação Industrial, Desenvolvimento Web e Mobile e Monitoramento inteligente (IA).

RENATA MEDEIROS LOBO MULLER

Bacharel em Química pela Universidade Federal do Pará, Mestre em Materiais pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP. Doutora em Química pela Universidade Federal do Pará. Tem experiência na área de Química Analítica, com ênfase em Instrumentação Analítica (Análise de amostras ambientais e biológicas a nível de ultratracos). Possui experiência no magistério superior em Instituições Privadas para cursos de Engenharia e da área da Saúde. Desenvolveu pesquisas e orientações na área de Corrosão e Sustentabilidade. Atualmente atua como professora na Unidade de Ensino Superior Dom Bosco no curso de Engenharia Civil.

SAMUEL VINÍCIUS ROCHA

Graduado em Engenharia de Energia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Atuou em projetos de eficiência energética e gestão de energia pela PUC Minas, Iniciação científica em Análise locacional para implantação de Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs) na Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Atualmente está se especializando em Gerenciamento de Projetos pela PUC Minas.

VITOR FEITOSA RIEDEL

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá, onde se formou em 2016. Em 2019, concluiu o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos (PSE) pela Unicamp onde desenvolveu estudo sobre sistemas de armazenamento de energia elétrica com uso de fontes renováveis, baterias de íons de lítio e sistemas de hidrogênio. No mesmo ano, iniciou o doutorado no PSE onde vem dando continuidade as pesquisas com a tecnologia do hidrogênio e de baterias eletroquímicas. Em 2019, concluiu o curso sobre Gestão Estratégica da Inovação na Empresa no âmbito do Programa de Pós-graduação em Política Científica e Tecnologia da Unicamp. Desde 2018 trabalha com a empresa BASE Energia Sustentável como engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento, atuando em todas as etapas dos novos projetos, desde a concepção da proposta até a implantação destes, durante este tempo trabalhou com dois projetos da Chamada de P&D Estratégico ANEEL N. 021/2016.

VITÓRIA CAROLINE CARVALHO DO NASCIMENTO

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA) (2018) e graduação no Bacharelado em Ciência e Tecnologia pela UFERSA (2017). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFERSA. Técnica em Biocombustíveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) (2014). Tem interesse nas áreas de sistemas elétricos de potência e de fontes alternativas de energia, principalmente energia solar fotovoltaica.

VIVIANE OLIVEIRA SOARES

Bacharel em Física com ênfase em Física Aplicada: Ciências dos Materiais, pela Universidade Federal de Ouro Preto (2005). Possui mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2007). Possui doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2010). Estagiou no Instituto de Cerâmica y Vidrio (ICV) do Consejo Superior de Investigaciones Científicas - CSIC - Madrid - Espanha. Atualmente é professora adjunta do Departamento de Ciências da Universidade Estadual de Maringá - UEM,

ministrando disciplinas para o curso de licenciatura em física. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em Materiais Cerâmicos. Atua principalmente nos seguintes temas: vidros, vitrocerâmicas, sinterização, cristalização e propriedades mecânicas.

WASHINGTON LUIZ FÊLIX SANTOS

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá - UEM (1994), mestrado em Química Aplicada pela UEM (1999) e doutorado em Química pela UEM (2005). Atualmente é Professor Associado e Chefe Adjunto do Departamento de Engenharia Têxtil da UEM. Ensino: Fenômenos de Transporte; Pesquisa: Modificação e tingimento de têxteis; Desenvolvimento de novos materiais e processos têxteis. Produção de Hidrocarvão para adsorção de corantes efluentes têxteis. Software para o desenvolvimento de cores para a indústria têxtil.

WILLIAM ROBSON DO NASCIMENTO GOUVEIA

Graduando em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Graduado em Marketing pelo Centro Universitário UniFBV.

