

PERSPECTIVAS DA ENGENHARIA

teoria, prática e desafios



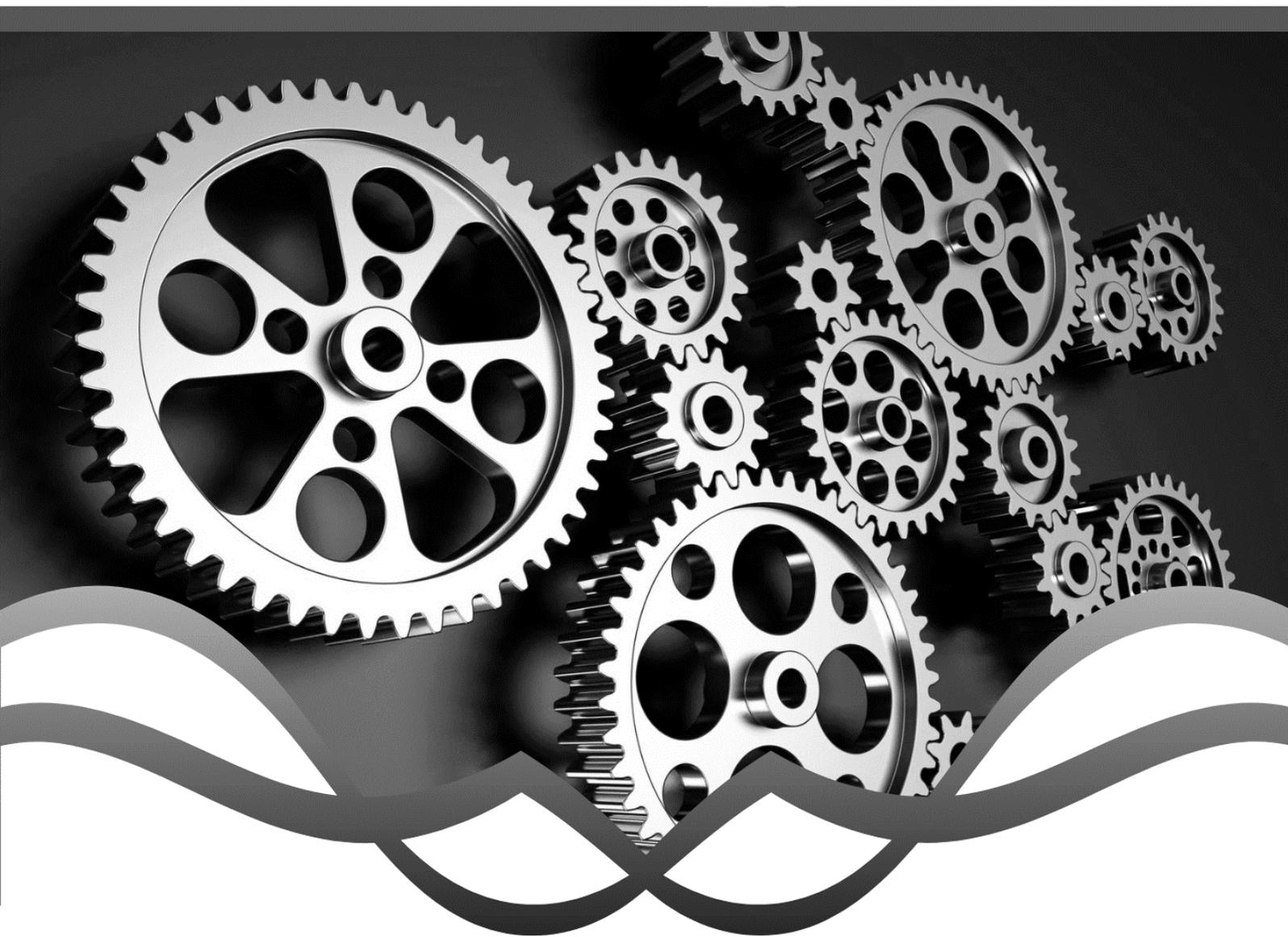
Organizadores
Higor Costa de Brito
Francisco Auriberto Ferreira Marques Junior



AMPLLA
EDITORA

PERSPECTIVAS DA ENGENHARIA

teoria, prática e desafios



Organizadores
Higor Costa de Brito
Francisco Auriberto Ferreira Marques Junior



AMPLLA
EDITORA



2024 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Perspectivas da engenharia: teoria, prática e desafios está licenciado sob CC BY 4.0.



Essa licença permite que outros remixem, adaptem e desenvolvam seu trabalho para fins não comerciais e, embora os novos trabalhos devam ser creditados e não possam ser usados para fins comerciais, os usuários não precisam licenciar esses trabalhos derivados sob os mesmos termos. O conteúdo da obra e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam a posição oficial da Ampla Editora. O download e o compartilhamento da obra são permitidos, desde que os autores sejam reconhecidos. Todos os direitos desta edição foram cedidos à Ampla Editora.

ISBN: 978-65-5381-249-9

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-0

Ampla Editora

Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br

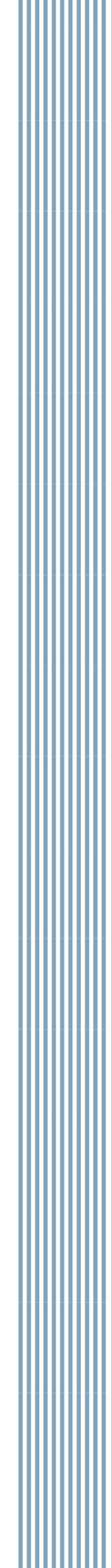


2024

CONSELHO EDITORIAL

Adilson Tadeu Basquerote – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Alexander Josef Sá Tobias da Costa – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio Augusto Martins Aires – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Caroline Barbosa Vieira – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Christiano Henrique Rezende – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denilson Paulo Souza dos Santos – Universidade Estadual Paulista
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Dinara das Graças Carvalho Costa – Universidade Estadual da Paraíba
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fábio Ronaldo da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Fredson Pereira da Silva – Universidade Estadual do Ceará
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Glécia Morgana da Silva Marinho – Pontifícia Universidad Católica Argentina Santa Maria de Buenos Aires (UCA)
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo – Fundação Oswaldo Cruz
Igor Lima Soares – Universidade Federal do Ceará
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lara Luiza Oliveira Amaral – Universidade Estadual de Campinas
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lisiane Silva das Neves – Universidade Federal do Rio Grande
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodré dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão
Luís Miguel Silva Vieira – Universidade da Madeira
Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Henrique Torres de Medeiros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Maria Carolina da Silva Costa – Universidade Federal do Piauí
Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Marina Magalhães de Morais – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Michele Aparecida Cerqueira Rodrigues – Logos University International
Miguel Ysrrael Ramírez-Sánchez – Universidade Autônoma do Estado do México
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Ramôn da Silva Santos – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Regina Márcia Soares Cavalcante – Universidade Federal do Piauí
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Rubia Katia Azevedo Montenegro – Universidade Estadual Vale do Acaraú
Sabryna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Selma Maria da Silva Andrade – Universidade Norte do Paraná
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carloto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Silvio de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Thiago Sebastião Reis Contarato – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Tiago Silveira Machado – Universidade de Pernambuco
Valvenarg Pereira da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso
Vinícius Queiroz Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
William Roslindo Paranhos – Universidade Federal de Santa Catarina
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande

2024 - Ampla Editora

Copyright © Ampla Editora

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Ampla Editora

Diagramação: Juliana Ferreira

Catlogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

P467

Perspectivas da engenharia: teoria, prática e desafios / Organização de Higor Costa de Brito, Francisco Auriberto Ferreira Marques Junior. – Campina Grande/PB: Ampla, 2024.

(Perspectivas da engenharia, V. 1)

Livro em PDF

ISBN 978-65-5381-249-9

DOI 10.51859/ampla.pet4499-0

1. Engenharia. I. Brito, Higor Costa de (Organizador). II. Marques Junior, Francisco Auriberto Ferreira (Organizador). III. Título.

CDD 620

Índice para catálogo sistemático

I. Engenharia

Ampla Editora
Campina Grande – PB – Brasil
contato@amplaeditora.com.br
www.amplaeditora.com.br

PREFÁCIO

O livro *Perspectivas da Engenharia: Teoria, Prática e Desafios* é uma obra que reflete a ampla diversidade de temas e desafios que caracterizam o campo da engenharia contemporânea. Esta coletânea foi estruturada com o propósito de integrar conhecimentos teóricos e práticos, promovendo um diálogo interdisciplinar e oferecendo contribuições relevantes para pesquisadores, profissionais e estudantes que buscam entender e enfrentar as complexidades técnicas e sociais do mundo moderno.

Ao longo dos capítulos, o leitor será conduzido por uma variedade de tópicos, agrupados em áreas temáticas que evidenciam as interseções entre a engenharia e questões críticas da sociedade. A obra inicia com reflexões sobre a segurança no trabalho e qualidade de vida, destacando a importância da gestão de saúde ocupacional e das medidas de prevenção no ambiente corporativo. Na sequência, a gestão empresarial e o comportamento organizacional são abordados sob diferentes perspectivas, analisando como liderança, motivação e estratégias de gestão podem transformar o desempenho de equipes e organizações.

O livro também dedica atenção à saúde e à gestão hospitalar, explorando a aplicação de ferramentas como o *Lean Healthcare* e a padronização de processos, temas que revelam a crescente interconexão entre a engenharia e os sistemas de saúde. Além disso, questões ambientais emergem na discussão sobre a qualidade do ar em ambientes hospitalares, reforçando a relevância da engenharia no enfrentamento de desafios de saúde pública.

Adentrando o campo da inovação tecnológica, a seção dedicada a materiais e sustentabilidade apresenta estudos avançados sobre o uso de nanomateriais e a reciclagem de agregados em concreto permeável. Estes capítulos ilustram o compromisso da engenharia em buscar soluções sustentáveis que equilibram desempenho técnico e respeito ao meio ambiente.

Na área de modelagem, o livro apresenta contribuições sobre simulações computacionais e planejamento de trajetórias de sistemas dinâmicos. Estes capítulos exemplificam como a modelagem matemática e a simulação desempenham um papel importante no desenvolvimento de tecnologias avançadas e no aprimoramento de

processos industriais. Por fim, a seção voltada para energia e tecnologia discute as possibilidades do mercado livre de energia e a importância da calibração de instrumentos de medição em contextos industriais e científicos.

Nesse contexto, esta obra reúne um conjunto diversificado de contribuições que refletem a complexidade e a relevância do campo da engenharia. Esperamos que este livro inspire debates, fomente novas pesquisas e sirva como referência para os desafios que moldam o futuro das engenharias.

Boa leitura!

Higor Brito

*Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental
Especialista em Geoprocessamento
Engenheiro Civil*

SUMÁRIO

SEGURANÇA NO TRABALHO E QUALIDADE DE VIDA

CAPÍTULO I - O IMPACTO DA QUALIDADE DE VIDA DO TRABALHADOR SOBRE O *TURNOVER* EM ESCRITÓRIOS 12

CAPÍTULO II - INSPEÇÃO DE SEGURANÇA EM POSTOS DE SERVIÇO EM SANTA CRUZ/RN..... 22

CAPÍTULO III - A CULTURA DE SEGURANÇA NAS EMPRESAS E SUA IMPORTÂNCIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES..... 35

CAPÍTULO IV - DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE EPI'S EM PEQUENAS EMPRESAS 48

GESTÃO EMPRESARIAL E COMPORTAMENTO ORGANIZACIONAL

CAPÍTULO V - A INFLUÊNCIA DA EXPERIÊNCIA DE COMPRA NO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR NO MERCADO PETS 69

CAPÍTULO VI - INFLUÊNCIA DA LIDERANÇA NO CLIMA ORGANIZACIONAL EM UMA EMPRESA AUTOMOTIVA..... 82

CAPÍTULO VII - A INFLUÊNCIA DO LÍDER NA MOTIVAÇÃO E NO DESEMPENHO DA EQUIPE EM UMA EMPRESA DE POSTO DE GASOLINA 95

CAPÍTULO VIII - CONTABILIDADE GERENCIAL COMO ESTRATÉGIA NA TOMADA DE DECISÕES EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS 109

CAPÍTULO IX - REDUZINDO A INADIMPLÊNCIA ATRAVÉS DE INCENTIVOS À GERENTE DE VENDAS: UM ESTUDO DE CASO EM LOJA DE VAREJO..... 119

SAÚDE E GESTÃO HOSPITALAR

CAPÍTULO X - O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS NA GESTÃO HOSPITALAR 130

CAPÍTULO XI - APLICABILIDADE DO *LEAN HEALTHCARE* NO FATURAMENTO DE PLANOS DE SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA 143

CAPÍTULO XII - PANORAMA DA QUALIDADE DO AR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS PÚBLICOS DE SAÚDE NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ/RN 161

MATERIAIS E SUSTENTABILIDADE

CAPÍTULO XIII - MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE APRIMORADO COM NANOPARTÍCULAS A BASE DE CARBONO 171

CAPÍTULO XIV - ÓLEO SINTÉTICO POLIOESTER PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS DE ALUMÍNIO EM SUSPENSÃO E AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA..... 185

CAPÍTULO XV - ESTUDO EXPERIMENTAL DE LUBRIFICANTE SINTÉTICO ADITIVADO COM NANOTUBOS DE CARBONO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES TRIBOLÓGICAS..... 194

CAPÍTULO XVI - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO RECICLADO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL 206

MODELAGEM

CAPÍTULO XVII - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE ROBÔ MÓVEL DE TRÊS RODAS COM ACIONAMENTO DIFERENCIAL 222

CAPÍTULO XVIII - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE POR MEIO DA INTEGRAL DE CONVOLUÇÃO EM TEMPO CONTÍNUO DE UM CIRCUITO RLC SÉRIE..... 236

CAPÍTULO XIX - REVISÃO NARRATIVA SOBRE A INTEGRAÇÃO BIM E GIS NA INFRAESTRUTURA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS 252

ENERGIA E TECNOLOGIA

CAPÍTULO XX - MERCADO LIVRE DE ENERGIA: LEGISLAÇÃO, HISTÓRICO E OPORTUNIDADES..... 266

CAPÍTULO XXI - EXPRESSÃO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ASSOCIADAS À DOSIMETRIA E ÀS CALIBRAÇÕES DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO PARA RADIAÇÕES IONIZANTES USADOS EM RADIOPROTEÇÃO NO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO GAMA (LCG) DO EXÉRCITO BRASILEIRO 281

O IMPACTO DA QUALIDADE DE VIDA DO TRABALHADOR SOBRE O *TURNOVER* EM ESCRITÓRIOS

THE IMPACT OF WORKERS' QUALITY OF LIFE ON OFFICE TURNOVER

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-1

Jucyelle de Moraes Araújo ¹
Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²
Francisco Canindé Dias Alves ³

¹ Graduanda de Administração – UNIFSA, Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

² Mestre em Administração – UFPR, Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

³ Doutorando em Engenharia da Produção – UNIP e Mestre em Administração – UFPB. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA e da Universidade Estadual do Piauí - UESPI

RESUMO

A gestão de pessoas desempenha um papel fundamental nas organizações, especialmente em um contexto de constante evolução e adaptação. O *turnover*, que reflete a rotatividade de funcionários, está intrinsecamente ligado à eficácia da gestão de pessoas e à satisfação dos colaboradores com o ambiente de trabalho. Este estudo visa analisar a importância da Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) na redução do índice de *turnover* em ambientes corporativos, com foco específico na relação entre QVT e a retenção de talentos. O objetivo geral é investigar como a melhoria da QVT pode influenciar positivamente a redução do *turnover* e, consequentemente, aumentar a satisfação e a produtividade dos colaboradores. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e descritiva, utilizando um estudo de caso com 13 colaboradores do setor administrativo de um escritório, caracterizado por alta rotatividade e insatisfação. A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas, e a análise dos dados será feita com base na técnica de análise de conteúdo. Os resultados esperados incluem a identificação de como a implementação de estratégias de QVT pode reduzir o *turnover* e melhorar o ambiente de trabalho, além de fornecer insights sobre as principais causas de desmotivação e estresse. Espera-se que a pesquisa contribua para a compreensão das melhores práticas para promover um ambiente de trabalho positivo, reduzir custos associados à rotatividade e aumentar a satisfação e o desempenho dos colaboradores.

Palavras-chave: Qualidade de Vida no Trabalho. Satisfação dos Colaboradores. *Turnover*.

ABSTRACT

People management plays a crucial role in organizations, particularly in an ever-evolving and adaptive context. Turnover, which reflects employee turnover, is closely related to the effectiveness of people management and employees' satisfaction with the work environment. This study aims to analyze the significance of Quality of Work Life (QWL) in reducing turnover rates in corporate settings, with a specific focus on the relationship between QWL and talent retention. The primary objective is to investigate how improving QWL can positively impact turnover reduction and, consequently, enhance employee satisfaction and productivity. The research employs a qualitative and descriptive approach, utilizing a case study involving 13 employees from the administrative sector of an office characterized by high turnover and dissatisfaction. Data collection was conducted through semi-structured interviews, with data analysis based on content analysis techniques. Expected outcomes include identifying how the implementation of QWL strategies can reduce turnover and improve the work environment, as well as providing insights into the main causes of demotivation and stress. The study is anticipated to contribute to understanding best practices for fostering a positive work environment, reducing turnover-related costs, and increasing employee satisfaction and performance.

Keywords: Employee Satisfaction. Quality of Work Life. Turnover.

1. INTRODUÇÃO

A gestão de pessoas é indispensável em uma sociedade em constante evolução. Dessa forma, a mesma torna-se cada vez mais presente e necessária nas organizações corporativas, uma vez que essas dependem diretamente dos seus colaboradores. Isso enfatiza a relevância de uma gestão que valoriza o ser humano, além de agregar, monitorar, desenvolver e preservar os seus talentos (Araújo, 2021).

O *turnover* está diretamente relacionado à saúde da gestão de pessoas, uma vez que o índice representa a saída de funcionários da organização por diversos motivos, sendo o principal o ambiente organizacional. Desse modo, os métodos de gestão devem ser constantemente atualizados para atender às necessidades de cada colaborador, com o objetivo de proporcionar a satisfação e contentamento dos mesmos em participar do ambiente corporativo em que atua (Mota, 2014).

A qualidade de vida é um reflexo do bem-estar físico e emocional do colaborador em seu ambiente de trabalho, no qual esse ambiente impacta diretamente nos resultados do profissional para a empresa. À vista disso, a organização deve buscar cada vez mais um ambiente favorável e estimulante para o colaborador, deste modo, garantindo o aumento da produtividade e reduzindo seus custos operacionais (Cavassani; Barbieiri; Biazin, 2006).

Portanto, surgiu o seguinte problema de pesquisa: qual o impacto da qualidade de vida no trabalho para redução do *turnover*? As proposições são que a qualidade de vida no ambiente de trabalho, reduz o *turnover* e tem um impacto direto na satisfação do colaborador na empresa, evitando danos financeiros e, ao mesmo tempo, mantendo e melhorando os talentos que contribuem para o crescimento da organização, visto que a evasão de colaboradores de alto desempenho tem implicações financeiras, bem como nos índices de qualidade, produtividade e inovação da organização. O objetivo é analisar a importância da Qualidade de Vida (QVT) para redução do indicador de *turnover* em um escritório de médio porte do ramo de drogarias, localizada no Piauí, por meio da revisão bibliográfica onde será realizada uma revisão da literatura para explorar os conceitos de Qualidade de Vida no Trabalho e *turnover*, identificando teorias e modelos relevantes que abordam a relação entre esses temas.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A gestão de pessoas nas organizações evoluiu significativamente ao longo do tempo, refletindo mudanças nas dinâmicas sociais e nas necessidades do ambiente de trabalho. Inicialmente marcada pela Administração Científica, que enfatizava a racionalização do trabalho, essa área ganhou nova perspectiva com a Escola das Relações Humanas, que destacou a importância dos fatores psicológicos na produtividade. Com o fortalecimento dos sindicatos pós-Segunda Guerra Mundial, as organizações passaram a valorizar as condições de trabalho e o diálogo com os colaboradores. Essa trajetória mostra que a gestão de pessoas não é apenas uma função administrativa, mas um elemento estratégico essencial para o sucesso organizacional (Ávila, Stecca, 2015).

Entendida como um conjunto dinâmico de processos interativos, a gestão de pessoas abrange diversas práticas fundamentais para manter colaboradores nas organizações. O processo de manter pessoas é essencial para criar um ambiente psicológico e físico favorável, promovendo condições que favoreçam o desempenho e o bem-estar dos funcionários. Isso inclui a gestão do clima organizacional, a segurança no trabalho e a qualidade de vida, elementos que contribuem para a satisfação e motivação dos colaboradores. Além disso, a promoção de relações positivas entre a empresa e os sindicatos é vital para garantir um ambiente de trabalho harmonioso. Ao humanizar as relações e incentivar a participação ativa, as organizações não apenas retêm talentos, mas também fomentam um espaço onde todos se sentem valorizados e motivados a contribuir para o sucesso coletivo (Araújo, 2022).

A administração de recursos humanos é estruturada como um sistema que abrange diferentes subsistemas, cada um com funções específicas para apoiar a estratégia da organização. Esses subsistemas incluem macroprocessos como a contratação, o desenvolvimento e a retenção de colaboradores, todos voltados para garantir que as pessoas possuam as habilidades necessárias para alcançar os objetivos da empresa. Com processos eficazes de recrutamento e seleção, a organização pode atrair profissionais que não apenas atendem às demandas imediatas, mas que também se encaixam na cultura e nos valores da empresa. O foco no desenvolvimento contínuo é igualmente fundamental, pois envolve capacitar os colaboradores e criar trajetórias de carreira que promovam o crescimento mútuo. Assim, a colaboração entre esses macroprocessos e suas atividades é essencial para

estabelecer um ambiente de trabalho que valorize o potencial humano e contribua para a sustentabilidade da organização (Calvi, 2021).

A melhoria da qualidade de vida no ambiente laboral é um tópico que sempre impacta na vida do ser humano. Atualmente, as empresas estão compreendendo que o principal fator para o sucesso são as pessoas e não as máquinas, e a pesquisa sobre como manter os funcionários satisfeitos no ambiente laboral para aumentar a produtividade e a lucratividade da empresa se tornou um dos principais objetivos (Freire, 2013).

Para que a organização possa estabelecer a QVT, ela deve ter ciência de que o tempo de trabalho é a maior parte da vida do seu funcionário, e que o seu relacionamento com ele tem um impacto tanto na vida profissional quanto pessoal. Dessa forma, a empresa deve buscar métodos que causem um impacto positivo nesse funcionário, como oferecer um ambiente confortável e seguro, onde devem ser constantemente estimulados a progredir de forma individual ou coletiva, garantindo que o funcionário desenvolva toda a sua capacidade se sentindo satisfeito com os resultados alcançados (Carvalho et al., 2013).

Após a conscientização da organização quanto ao impacto da QVT dos funcionários nos seus resultados, ela deve analisar meios que permitam que os funcionários se sintam estimulados a se desenvolverem, melhorando as possíveis causas de estresse, descontentamento e conflito de valores, seja através de ações preventivas ou programas de QVT, o que, conseqüentemente, diminuirá os custos da empresa, como o de *Turnover* (Alves, 2011).

É importante salientar que não há um padrão a ser seguido para assegurar a QVT, uma vez que cada indivíduo tem suas particularidades, convívio social e conceitos próprios. Sendo assim, a organização deve ter uma boa gestão de qualidade para compreender quais soluções atendem mais às necessidades do seu grupo, direcionando os esforços do funcionário e da empresa para que ambas as partes saiam ganhando (Ribeiro; Santana, 2015).

O termo inglês *Turnover* se refere ao indicador de desempenho entre a relação dos desligamentos e entradas de novos colaboradores no quadro da empresa em um determinado período analisado. Deste modo, as demissões podem ocorrer por diversos motivos, podendo ser tanto por parte da empresa, ou seja, involuntária, como também pode ser voluntária, no qual o colaborador entra com o pedido de demissão (Souza, 2013).

As demissões voluntárias devem ser as analisadas pelos gestores da área, de forma que possam corrigir as motivações que levam o colaborador a pedir demissão, assim evitando

o custo de gastos inesperados com a contratação de um novo colaborador, ou com o treinamento para capacitar um colaborador que já faz parte do quadro da empresa (Oliveira et al., 2018).

O desligamento de um funcionário é complexo, a organização deve identificar todos os fatores que podem levar o funcionário a se sentir insatisfeito e tentar reverter a situação. Dessa forma, a organização precisa criar laços de comprometimento entre a empresa e o funcionário, uma vez que as ações do funcionário influenciam diretamente no sucesso da organização, melhorando ou dificultando. Além disso, a organização também pode ter ações que afetam o seu funcionário de forma negativa ou positiva em todos os aspectos da sua vida (Pavanello; Jaeger, 2016).

A análise dos índices de rotatividade deve ser sempre gerida, visto que se for alta demais pode passar uma imagem de empresa instável, seja para possíveis colaboradores, fornecedores ou parceiros. Enquanto a baixa rotatividade também pode indicar que a empresa não atualiza os seus colaboradores com perspectivas fora da sua bolha empresarial. A empresa deve encontrar o seu equilíbrio (Ramos; Noshi, 2022).

De acordo com a classificação do *turnover*, seja ele voluntária ou involuntário, a organização terá diversos custos, sobretudo os primários, secundários e terciários. Os custos financeiros serão todos significativos. Logo, os índices de rotatividade elevados tornam-se não apenas financeiros, mas também negativos em outros aspectos, como uma imagem instável e negativa para futuros colaboradores, fornecedores e parceiros (Reis, 2021).

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado com o objetivo principal de analisar a relevância da Qualidade de Vida (QVT) para a diminuição do índice de *turnover* em escritórios, bem como, os programas de qualidade de vida podem reverter essa situação. Este trabalho é de natureza aplicada, tendo sido desenvolvido através de uma análise de dados subjetivos por meio de uma pesquisa qualitativa (Munck; Munck; Souza, 2011).

O estudo teve como objetivo uma análise descritiva, onde procurou-se descobrir a frequência com que o fenômeno da rotatividade ocorre ou como se organiza dentro dos escritórios. Neste estudo, busca-se estabelecer as relações entre a qualidade de vida e o *turnover*, com o objetivo de descrever de maneira imparcial essas condutas humanas (Balducci; kanaane, 2007).

Dessa forma, a pesquisa é um estudo de caso por consistir principalmente em uma análise aprofundada de um objeto, o que possibilita um entendimento abrangente sobre o assunto investigado. Através da análise de um caso de estudo, são apresentadas informações que contribuem para o conhecimento das razões e efeitos da qualidade de vida no índice de rotatividade (Penatti; Zago; Quelhas, 2006).

A amostra foi composta por 13 colaboradores que compõe o setor administrativo de um escritório. Dentre todos os funcionários da organização foram escolhidos os dessa área por já terem passado por uma pesquisa anterior que inferiu em que o mesmo representa o setor com maior índice de insatisfação, desmotivação e rotatividade devido a falta de qualidade de vida e pressão gerencial.

No procedimento de coleta de dados da pesquisa qualitativa, foi utilizado roteiros de entrevistas semiestruturadas e as perguntas foram alteradas no decorrer das entrevistas de acordo com o perfil e desenvolvimento que os colaboradores da organização em questão apresentaram, onde foi abordado temas sobre a qualidade de vida na organização, clima organizacional, gerencia e rotatividade entre o setor.

Esta pesquisa qualitativa analisou os dados por meio da análise de conteúdo prática, no qual a técnica utilizada foi análise de entrevista, a qual é uma forma específica de investigação, onde o polo de comunicação principal é a Mensagem, que se refere ao estudo e interpretação do conteúdo em questão (Santos, 2012).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da pesquisa realizada com os colaboradores do setor administrativo da empresa, foi possível identificar de forma clara que a falta de qualidade de vida no trabalho tem impacto direto no aumento do *turnover* da empresa. Esse resultado está alinhado com as principais teorias que associam a satisfação no ambiente de trabalho à retenção de talentos e ao desempenho organizacional.

Um dos fatores mais recorrentes mencionados pelos entrevistados foi o estresse no ambiente de trabalho, provocado, em grande parte, pela pressão gerencial e pelas altas demandas sem um suporte, ou treinamento adequado. Esse estresse constante gera uma série de efeitos negativos, como a redução da produtividade, aumento de erros operacionais e, principalmente, a desmotivação com a função e o gestor. Logo colaboradores desmotivados tendem a se engajar menos em suas atividades, resultando em um ciclo de baixo desempenho

e insatisfação tanto pessoal quanto profissional, o que o resulta em buscar oportunidades em outros lugares.

Outro ponto crítico identificado foi a ausência de um plano de carreira bem definido. A falta de perspectivas de crescimento e desenvolvimento dentro da organização foi um tema central nas entrevistas. Os colaboradores disseram sentir-se estagnados em suas funções, sem expectativas de promoções ou melhorias em suas condições de trabalho. Essa sensação de limitação profissional impacta diretamente o clima organizacional, gerando uma cultura de conformismo ou, em casos mais graves, desmotivação coletiva, na qual os funcionários deixam de ver valor em seus papéis dentro da empresa, e não possuem perspectiva de crescimento.

Esse cenário de estresse e falta de progressão na carreira se traduz em uma elevada rotatividade de pessoal. O *turnover* quando em níveis elevados, acarreta não apenas prejuízos financeiros para a organização, como custos de recrutamento e formação de novos colaboradores, mas também afeta o desempenho geral do setor. A substituição constante de funcionários impede a criação de uma equipe coesa e experiente, além de causar uma perda de conhecimento organizacional que leva tempo para ser recuperada.

Além disso, o clima organizacional foi descrito como uma área de preocupação por grande parte dos entrevistados. Os colaboradores apontaram uma comunicação pouco eficiente entre gestão e equipe, com feedbacks inadequados ou inexistentes, o que contribui para a insatisfação. A ausência de um ambiente de trabalho colaborativo e de apoio reforça a percepção de desvalorização, intensificando o desejo de desligamento da empresa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou investigar a importância da qualidade de vida no trabalho (QVT) como um fator decisivo para a redução do *turnover* em uma empresa de médio porte do setor de drogarias no Piauí. A partir da análise teórica e do estudo de caso, ficou claro que o QVT desempenha um papel essencial na retenção de talentos e na melhoria do clima organizacional, impactando diretamente a satisfação dos colaboradores.

Conclui-se que as empresas que investem em boas práticas de QVT não apenas reduzem os custos relacionados à rotatividade de funcionários, mas também criam um ambiente mais produtivo e engajador. Colaboradores que percebem que suas necessidades de bem-estar e crescimento estão sendo atendidos tendem a se comprometerem mais com

os objetivos da empresa, reduzindo significativamente o desejo de procurar novas oportunidades.

Assim, a combinação de estresse, falta de plano de carreira, desmotivação e pressão gerencial formam um ambiente desfavorável à retenção de talentos, elevando a rotatividade e comprometendo o desempenho do setor abordado. Essas questões são consistentes com a literatura sobre gestão de pessoas, o que sugere que a qualidade de vida no trabalho é um fator determinante para a produtividade e o bem-estar organizacional.

Para mitigar esses problemas, a empresa deve considerar a implementação de estratégias que melhorem a qualidade de vida no trabalho, como a criação de um plano de carreira estruturado, o desenvolvimento de políticas que visem reduzir o estresse, e a promoção de um ambiente de comunicação aberta e de feedbacks constantes. A introdução de programas de desenvolvimento pessoal e profissional também poderia gerar um impacto positivo na retenção dos colaboradores, além de contribuir para o aumento da motivação e do comprometimento com a organização.

Portanto, o investimento em qualidade de vida no trabalho não deve ser visto apenas como um diferencial, mas sim como uma estratégia fundamental para a retenção de talentos e o sucesso da empresa no longo prazo. Sugere-se que o escritório de drogarias, em questão, adote medidas que priorizem a saúde física e emocional dos colaboradores, a fim de manter uma equipe mais motivada, com maior engajamento, visando também o aumento da produtividade, retenção de talentos e redução do *turnover*.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. C. Treinamento e desenvolvimento de pessoas em uma empresa supermercadista da cidade de Araguaína – TO. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.

ALVES, E. F. Programas e ações em qualidade de vida no trabalho. INTERFACEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. v. 6, n. 1, p. 60-78, 2011.

ARAÚJO, Luis César G. de; GARCIA, Adriana Amadeu. Gestão de pessoas. São Paulo: Atlas, p. I, 2006.

ÁVILA, Lucas Veiga; STECCA, Jaime Peixoto. Gestão de pessoas. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, p. 48, 2015.

BALDUCCI, D.; KANAANE, R. Relevância da gestão de pessoas no clima organizacional de uma empresa de engenharia. Boletim Academia Paulista de Psicologia. v. 27, n. 2, p. 133-147, 2007.

- CALVI, Maria Sol. Análise do macroprocesso de desenvolvimento de pessoas numa PME de serviços. 2021. Tese de Doutorado.
- CAVASSANI, A. P.; CAVASSANI, E. B.; BIAZIN, C. C. Qualidade de vida no trabalho: fatores que influenciam as organizações. In: SIMPEP, 13., 2006. Bauru. Anais... Bauru: 2006. p. 41-47.
- CARVALHO, J. F. et al. Qualidade de vida no trabalho e fatores motivacionais dos colaboradores nas organizações. *Educação em foco*, v. 7, n. 1, p. 21-23, 2013.
- ENTRINGER, P. G. L. P.; TAVEIRA, I. Rotatividade (turnover) e qualidade de vida no trabalho em uma empresa do ramo de petróleo e gás em Macaé. In: EMPRAD-Encontro dos Programas de Pós-graduação Profissionais em Administração, 2021. São Paulo. Anais... São Paulo: Edição on-line, 2021. p. 1-16.
- FERNANDES, T. R. et al. Qualidade de vida no trabalho. In: Mostra Científica do CESUCA, 2013. Rio Grande do Sul. Anais... Rio Grande do Sul: 2013. p. 111-124.
- FREIRE, M. G. Qualidade de vida no trabalho. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso.
- MUNCK, L.; MUNCK, M. G. M.; SOUZA, R. B. Gestão de pessoas por competências: análise de repercussões dez anos pós-implantação. *RAM, Revista de Administração Mackenzie*, v. 12, n. 1, p. 4-52, 2011.
- MOTA, R. S.; CASTRO, M. R. T. Rotatividade nas organizações: razão de grandes perdas. *Perquirere*, v. 2, n. 11, p. 36-50, 2014.
- OLIVEIRA, Á. F. et al. Análise dos fatores organizacionais determinantes da intenção de rotatividade. *Temas em Psicologia*, v. 26, n. 2, p. 1031-1042, 2018.
- PINHEIRO, A. P.; SOUZA, D. A]. Causas e efeitos da rotatividade de pessoal/turnover: Estudo de caso de uma microempresa do setor de educação. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 10., 2013. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2013. p. 1-13.
- PENATTI, I.; ZAGO, J.S.; QUELHAS, O. Absenteísmo: as consequências na gestão de pessoas. In: Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 3. 2006. Rio de Janeiro. Anais..., Rio de Janeiro: 2006. p. 11-22.
- PAVANELLO, L.; JAEGER, E. V. Rotatividade nas empresas: motivos internos e externos. *Revista Brasileira de Contabilidade e Gestão*. v. 4, n. 8, p. 070-074, 2016.
- RAMOS, C. L.; NOSHI, N. M. Rotatividade: um estudo de caso sobre as causas que levam a mudança de emprego. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.
- REIS, L. F. V. Rotatividade de pessoal e seus efeitos nas organizações: um estudo bibliométrico. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso.

RIBEIRO, L. A.; SANTANA, L. C. Qualidade de vida no trabalho: fator decisivo para o sucesso organizacional. Revista de Iniciação Científica–RIC Cairu, v. 2, n. 02, p. 75-96, 2015.

SANTOS, F. M. A visão de Laurence Bardin. 2012.

TOMASI, F.; OLTRAMARE, P. J. Absenteísmo e rotatividade: proposta de ações para a qualidade de vida no trabalho de trabalhadores da construção civil do sudoeste do Paraná. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.

CAPÍTULO II

INSPEÇÃO DE SEGURANÇA EM POSTOS DE SERVIÇO EM SANTA CRUZ/RN

SAFETY INSPECTION AT SERVICE STATIONS IN SANTA CRUZ/RN

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-2

Thiago da Silva André ¹

Carlos Macson Barbosa da Silva ²

Claudio Gabriel de Oliveira Vitoriano de Souza ³

Lívia Cecília de Lima Pereira ⁴

Maria Fernanda Alves da Silva ⁵

Yasmim Ellem Lima do Nascimento ⁶

¹ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN

^{2,3,4,5,6} Estudantes do curso Técnico Integrado de Nível Médio em Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN Campus Santa Cruz

RESUMO

O desenvolvimento e operação segura de postos de combustíveis no Brasil são regidos por uma série de normas e regulamentos, com o objetivo de garantir a qualidade dos produtos, prevenir fraudes e assegurar a segurança de instalações, consumidores e colaboradores. Este estudo analisa a aplicação dessas normas em cinco postos de serviços em Santa Cruz/RN, com foco na continuidade das condições de segurança após mais de uma década do Projeto Selo Verde, iniciado em 2009. Este projeto, promovido por órgãos como o Ministério Público Estadual e a UFRN, visa certificar postos que adotam práticas sustentáveis e contribuem para um ambiente seguro e saudável. A pesquisa incluiu inspeções in loco, verificando elementos como licenciamento, sistemas de descarga, abastecimento subterrâneo, bombas, respiros, controle de vazamentos e instalações elétricas. Os resultados indicam que todos os postos cumprem as normas de segurança e operam de acordo, destacando a eficácia do Projeto Selo Verde. Foram observados equipamentos essenciais como câmaras de contenção, sistemas de monitoramento de vazamentos e procedimentos adequados de troca de óleo. No entanto, identificou-se a necessidade de melhorias em algumas instalações elétricas, como o uso de extensões comuns e eletrodutos de PVC, que podem exigir ajustes para garantir total conformidade com as normas. A pesquisa reforça a importância da avaliação contínua das condições de segurança e adesão a normas ambientais e de saúde.

Palavras-chave: avaliação, prevenção, equipamentos eletromecânicos.

ABSTRACT

The development and safe operation of gas stations in Brazil are governed by a series of rules and regulations, with the aim of guaranteeing product quality, preventing fraud and ensuring the safety of facilities, consumers and employees. This study analyzes the application of these standards in five service stations in Santa Cruz/RN, focusing on the continuity of safety conditions after more than a decade of the Green Seal Project, started in 2009. This project, promoted by bodies such as the Public Ministry State and UFRN, aims to certify posts that adopt sustainable practices and contribute to a safe and healthy environment. The research included on-site inspections, checking elements such as licensing, discharge systems, underground supply, pumps, vents, leak control and electrical installations. The results indicate that all stations comply with safety standards and operate accordingly, highlighting the effectiveness of the Green Seal Project. Essential equipment such as containment chambers, leak monitoring systems and adequate oil change procedures were observed. However, the need for improvements in some electrical installations was identified, such as the use of common extension cords and PVC conduits, which may require adjustments to ensure full compliance with standards. The research reinforces the importance of continuous assessment of safety conditions and adherence to environmental and health standards.

Keywords: evaluation. prevention. electromechanical equipment.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de posto ecológico, conforme definido por Gilka da Mata (2012), envolve uma infraestrutura que cumpre rigorosamente as normas ambientais, de segurança e de saúde humana, minimizando os impactos ambientais associados à comercialização de combustíveis.

O projeto Selo Verde certifica estabelecimentos que adotam práticas sustentáveis, como o uso de energia renovável, destinação correta de resíduos e redução de emissão de poluentes, demonstrando um compromisso com a proteção ambiental e a saúde pública.

Para tanto existem uma vasta variedade de leis e regulamentos aplicadas por entidades como Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), de âmbito nacional e o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA/RN), estadual.

As normas, leis, decretos e resoluções têm a finalidade de promover um ambiente comercial e laboral seguro, sustentável e que garanta a continuidade dos serviços essenciais prestados por um posto de combustível. Um empreendimento que atenda às exigências dos órgãos competentes está comprometido com a segurança e saúde de todos os partícipes do processo de comercialização de combustíveis.

O IDEMA atua ao realizar o licenciamento ambiental dos estabelecimentos, ao mesmo tempo que a ANP realiza inspeções rotineiras para averiguar a adesão com as normas de segurança e qualidade dos combustíveis.

Os postos de serviços têm como foco atender às normas da resolução ANP nº 41/2013, que instruem critérios de segurança. Também é necessário citar a resolução do Conselho Nacional do meio ambiente (CONAMA) nº 273, de 29 de novembro de 2000, que trata do licenciamento ambiental dos postos. Outra legislação importante é a lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que menciona a política nacional do meio ambiente, a mesma, firma diretrizes de proteção, preservação e melhoria da qualidade ambiental.

Um exemplo de engajamento para aplicação das legislações no Estado do Rio Grande do Norte é o projeto de adequação ambiental realizado em Natal e cidades do Rio Grande do Norte denominado Selo Verde, iniciado em 2009, promovido pelo Ministério Público Estadual,

a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e a Fundação de Apoio à Educação e ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte (FUNCERN).

Surge então o conceito de posto ecológico (Dias, 2012), um empreendimento de comércio de combustíveis que segue uma série de normas, resoluções, orientações técnicas de modo a promover um ambiente sustentável ao meio ambiente, seguro e saudável para as pessoas. Portanto, a avaliação da aplicação de normas de saúde, segurança e ambientais relativas aos postos de serviço é vital para o desenvolvimento de suas atividades.

Uma forma de constatar é a realização de averiguação dos itens de segurança exigidos pelas normativas. Esta pesquisa visa avaliar a continuidade e eficácia das condições de segurança nos postos de serviços de Santa Cruz/RN após mais de uma década da implementação do Projeto Selo Verde, iniciado em 2010 no município. O objetivo é garantir um ambiente de trabalho seguro para colaboradores, clientes, meio ambiente e vizinhança, por meio da verificação da operação das medidas de segurança estabelecidas pelo projeto.

1.1. POSTO LEGAL (ECOLÓGICO)

Um posto de serviço ecológico, conforme conceituado por Gilka da Mata (2012), é uma infraestrutura de revenda de combustíveis que adere rigorosamente a normas ambientais, de segurança e de saúde humana. Este tipo de posto é meticulosamente projetado e construído com a finalidade de mitigar os impactos ambientais potenciais associados à comercialização de combustíveis.

O enfoque está na proteção contra danos ao meio ambiente, particularmente em relação aos corpos d'água subterrâneos. A gestão eficaz dos recursos naturais é inerente a esse modelo de posto, que incorpora adaptações ambientais em seus equipamentos, instalações e operações, visando a recuperação de áreas degradadas. Isso implica, necessariamente, em avaliações detalhadas dos aquíferos nas proximidades para prevenir a contaminação decorrente de vazamentos de derivados de petróleo.

Os componentes essenciais de um posto de serviço ecológico transcenderam a mera comercialização de combustíveis fósseis. Para além disso, abrangem métodos preventivos para evitar danos ambientais, como sistemas de contenção de vazamentos, tratamento adequado de efluentes e disposição correta de resíduos sólidos e líquidos. A preservação dos corpos d'água e a prevenção da contaminação do solo constituem a essência dessas ações, visando substancialmente reduzir os impactos adversos ao meio ambiente.

Destaca-se no contexto do posto ecológico o Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis (SASC), composto por elementos cruciais que garantem não apenas a eficiência operacional, mas também a conformidade ambiental e segurança.

O tanque de armazenamento subterrâneo, peça fundamental do SASC, é uma estrutura de aço carbono ASTM A-36 revestida com resina para fortalecer sua resistência. Com capacidade variável entre 15.000 a 60.000 litros, o tanque é projetado para armazenar combustíveis de maneira segura. Sua estrutura de duas paredes abriga um espaço equipado com um sensor eletrônico, cuja finalidade é detectar vazamentos potenciais, contribuindo assim para a proteção ambiental.

A câmara de contenção de descarga de combustível é outro componente vital do SASC, responsável por impedir vazamentos durante o descarregamento de combustíveis de tanques subterrâneos. Caso ocorra uma falha não intencional, essa câmara atua como uma barreira, evitando a propagação de combustíveis no ambiente e, conseqüentemente, prevenindo a contaminação do solo e das águas subterrâneas.

A câmara de contenção da boca de visita é um componente essencial que encerra a abertura de entrada para o tanque subterrâneo. Projetada para inspeções e manutenções, possui um mecanismo de contenção que impede vazamentos ou derramamentos, garantindo a segurança e integridade do sistema e evitando a liberação de materiais perigosos no ambiente.

A tubulação de líquidos é um sistema crucial para o transporte eficiente e seguro de combustíveis do tanque subterrâneo até as bombas de abastecimento. Feita de materiais resistentes à corrosão, essa tubulação é projetada para evitar perdas e vazamentos ao longo do trajeto, assegurando o fluxo adequado dos líquidos armazenados.

O tubo de vapor, parte integrante do sistema de ventilação e controle de vapor do SASC, é destinado a coletar e direcionar os vapores gerados pela gasolina armazenada nos tanques subterrâneos. Essa tubulação contribui significativamente para a segurança no ambiente de trabalho, reduzindo a poluição atmosférica ao evitar a descarga descontrolada de vapores na atmosfera.

A unidade de abastecimento, responsável pela distribuição de combustível aos veículos, compreende bombas, filtros, medidores de volume e outros equipamentos essenciais para um abastecimento seguro e eficiente. Acoplada à tubulação de líquido e vapor

acima do solo, geralmente em uma ilha de abastecimento, essa unidade é projetada para atender aos mais elevados padrões de segurança e conformidade ambiental.

A câmara de contenção da unidade de abastecimento, por sua vez, é um compartimento estratégico concebido para capturar eventuais derramamentos ou vazamentos durante as operações de abastecimento. Essa medida adicional de segurança e proteção ambiental evita que os combustíveis entrem em contato com o solo ou o meio ambiente, reforçando a integridade do sistema.

Para promover uma instalação segura e verdadeiramente ecológica, são incorporados ao SASC o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e o sistema de drenagem oleosa. O SPDA consiste em um conjunto de ferramentas e precauções de segurança destinadas a proteger as estruturas contra danos causados por raios. Seu projeto e instalação adequados são essenciais para garantir a segurança do posto de gasolina, prevenindo danos materiais e protegendo vidas. Inclui subsistemas externos que controlam a distribuição da carga elétrica, como aterramento, descida segura de raios para a terra e captação de descargas atmosféricas.

O sistema de drenagem oleosa, em conformidade com a legislação aplicável, é responsável pela coleta, tratamento e eliminação dos efluentes oleosos gerados na estação de serviço. Composto por dutos, canais, caixas de areia, separadores de água e óleo, e reservatórios de petróleo segregados, seu propósito primordial é assegurar o manuseio adequado e a disposição responsável de resíduos oleosos. As condições e requisitos para o descarte de efluentes são rigidamente definidos por normas e legislação, como a Resolução CONAMA nº 357, impondo uma conformidade estrita ao sistema de drenagem oleosa nos postos de serviço.

Em síntese, um posto de serviço ecológico representa um paradigma de excelência operacional e ambiental. A integração cuidadosa de componentes como o SASC, o SPDA e o sistema de drenagem oleosa destacam o compromisso inabalável. O projeto Selo Verde, criado pelo Ministério Público Estadual e a Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura em parceria com as prefeituras, busca certificar estabelecimentos que adotam práticas sustentáveis.

Essas práticas incluem o uso de energia renovável, a gestão adequada de resíduos e medidas para reduzir a emissão de poluentes. A certificação indica que o posto se preocupa com o meio ambiente e cumpre normas de segurança, como a Resolução CONAMA 273/2000

e normas da ABNT, visando evitar vazamentos que possam contaminar o lençol freático. O Selo Verde tem como objetivo principal promover a preservação ambiental e proteger a saúde da população.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, com o objetivo de avaliar a condição de segurança dos postos de combustíveis no município de Santa Cruz, RN. O desenho da pesquisa inclui a coleta de dados por meio de visitas técnicas e a utilização de checklists para inspeção de itens de segurança obrigatórios. A análise será tanto quantitativa quanto qualitativa, proporcionando uma visão abrangente das condições de segurança nos postos de serviços

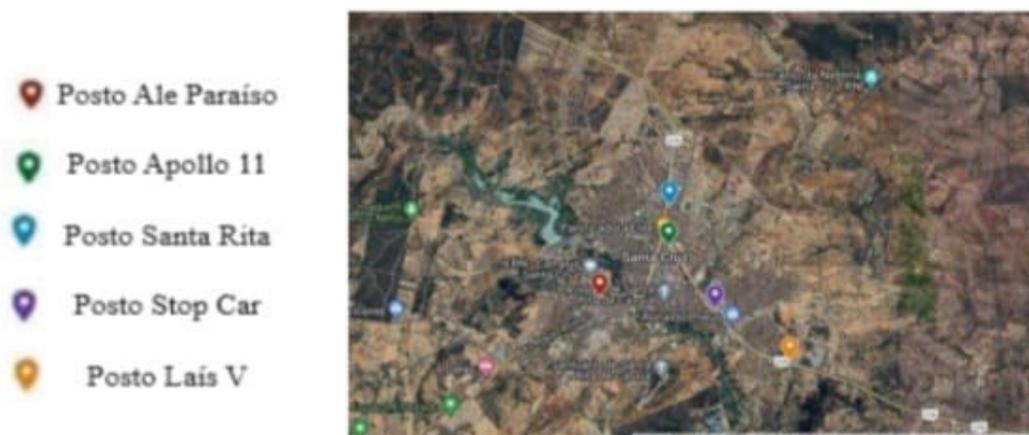
2.1. TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

No contexto, três etapas são destacadas para essa coleta: Identificação e mapeamento dos postos de serviço, que envolve a localização e a representação visual dos pontos de coleta de dados, permitindo uma compreensão clara da distribuição espacial dos empreendimentos avaliados. Visitas técnicas, que consistem em deslocamentos físicos aos locais de interesse para observação direta, entrevistas e coleta de dados in loco, possibilitando uma compreensão mais aprofundada e detalhada dos processos e das condições presentes. Checklists adaptados, que são listas de verificação personalizadas e ajustadas às necessidades específicas desta pesquisa, facilitando a sistematização da coleta de dados e garantindo a abordagem de todos os aspectos relevantes.

2.1.1. Identificação e Mapeamento dos Postos de Serviço

Inicialmente, foram realizadas ligações à prefeitura municipal de Santa Cruz para identificar a quantidade e localização dos postos de serviços operacionais na cidade. Foram confirmados cinco postos em operação, Fig 1.

Figura 1. Mapa dos Postos de Serviços de Santa Cruz/RN.



Fonte: Google Maps.

2.1.2. Técnicas de Coleta de Dados

Cada posto foi visitado para realizar inspeções visuais e entrevistas com os gerentes, que tinham acesso aos projetos executivos. As inspeções incluíram a verificação item por item de equipamentos, instalações, sistemas de combate a incêndio e validação/presença de documentos obrigatórios.

2.1.3. Checklists Adaptados

Utilizou-se os checklists apresentados por Dias (2012), baseados nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e outras regulamentações relevantes (e.g., NBR 13783, NR 20). Esses checklists foram adaptados e editados no Google Forms, divididos em oito seções específicas.

2.2. TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS

As técnicas de análise de dados abrangem diferentes abordagens para compreender e interpretar conjuntos de dados. Duas das principais etapas são a análise quantitativa e a análise qualitativa. Na análise quantitativa, os dados são avaliados numericamente e a quantitativa, na interpretação dos dados, muitas vezes por meio da análise de conteúdo e de padrões temáticos, buscando entender significados, contextos e percepções subjacentes aos dados. Ambas as abordagens são complementares e são utilizadas em conjunto para fornecer uma compreensão dos dados.

2.2.1. Análise Quantitativa

Os dados coletados através dos checklists no Google Forms foram analisados quantitativamente para determinar a porcentagem de conformidade com as normas de segurança em cada posto.

2.2.2. Análise Qualitativa

As observações e respostas dos gerentes durante as entrevistas foram analisadas qualitativamente para identificar possíveis lacunas, desafios e práticas eficazes relacionadas à segurança nos postos de combustíveis.

2.3. ESTRUTURA DOS CHECKLISTS

Os checklists foram organizados em oito seções, cada uma focando em diferentes aspectos de segurança e operação:

1. Identificação do Posto: Informações gerais como nome, CNPJ, endereço, bandeira, data de início de operação, licença e validade.
2. Descarga: Tipos de descarga, câmaras de contenção, canaletas, e segurança estática.
3. Linhas SASC: Tipo de tubulações e câmaras de contenção.
4. Bombas: Estruturas de contenção, sensores de detecção, flexíveis metálicos, válvulas, e pisos impermeabilizados.
5. Respiros: Estruturas de proteção, tubulações, terminais de respiro, e válvulas.
6. Troca de Óleo: Tipos de tanques, tambores de armazenamento, áreas cobertas, elevadores e canaletas.
7. Controle de Vazamento: Monitoramento ambiental, medições volumétricas, investigação de passivos ambientais.
8. Elétricos, Automação, Aterramento: Equipamentos à prova de explosão, eletrodutos, aterramento de tanques e bombas, automação.

Este percurso metodológico garante uma avaliação abrangente e detalhada das condições de segurança dos postos de combustíveis em Santa Cruz, contribuindo para a melhoria contínua das práticas de segurança nos postos de serviços. Esses checklists foram adaptados e editados no Google Forms, divididos em oito seções específicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das inspeções indicaram que todos os postos possuem licença de operação válida. Em relação à descarga de combustíveis, todos os postos realizam a descarga

selada e possuem os equipamentos necessários para garantir a segurança da operação, Fig. 2. O SASC (sistema de armazenagem e revenda sob controle) também mostrou conformidade com as normas técnicas.

Figura 2. Pista de abastecimento do SASC (descarga) do Posto Lais V.



Fonte: Autoria própria (2024).

As bombas de abastecimento foram inspecionadas e apresentaram os dispositivos de segurança exigidos pelas normas. As instalações de respiro estavam em boas condições de funcionamento, Fig. 3. No que tange ao sistema de monitoramento e controle de vazamentos, todos os postos possuem equipamento instalado e em funcionamento.

Figura 3. Ilha de abastecimento (bomba de diesel) do Posto Santa Rita.



Fonte: Autoria própria

Apenas dois postos (40%) apresentaram área específica para troca de óleo, nos quais foram observados os equipamentos necessários para a atividade, Fig. 4. A instalação elétrica dos postos, em geral, atendeu às especificações técnicas, embora tenham sido detectadas algumas irregularidades, como a presença de extensões comuns conectando equipamentos.

Figura 4. Área de troca de óleo do Posto Paraíso.



Fonte: Autoria própria (2024).

Finalmente, os postos foram questionados sobre a existência de passivos ambientais, relatando a ausência desses desde a implementação do projeto Selo Verde.

3.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos dados coletados nas inspeções revelou que:

1. 100% dos postos possuem licença de operação válida.
2. 100% dos postos realizam a descarga de combustíveis de forma selada.
3. 100% dos postos possuem SASC em conformidade com as normas técnicas.
4. 100% das bombas de abastecimento possuem os dispositivos de segurança exigidos pelas normas.
5. 100% das instalações de respiro estão em boas condições de funcionamento (Fig. 5).
6. 100% dos postos possuem sistema de monitoramento e controle de vazamentos instalado e em funcionamento.
7. 100% dos postos possuem sistema de extintores para combate a princípios de incêndios (Fig.6).
8. 40% dos postos possuem área específica para troca de óleo.
9. 80% dos postos possuem tomadas à prova de explosão na pista de abastecimento.
10. 80% dos postos possuem bujões, caixas de passagens, unidades seladoras e condutores de alumínio fundido à prova de explosão.
11. 60% dos postos possuem eletrodutos de aço galvanizado à prova de explosão.
12. 100% dos postos possuem aterramento dos tanques, bombas, cobertura metálica e computador na pista de abastecimento.
13. 20% dos postos possuem equipamentos elétricos na pista de abastecimento.
14. 100% dos postos possuem extintores de incêndio e automação das bombas.

15. dos postos possuem passivos ambientais.

Figura 5. Linhas de respiro protegidas por muro contra albaroamento.



Fonte: Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 6. Extintores presentes na ilha de abastecimento do Posto Apollo 11.



Fonte: Autoria própria (2024).

4. CONCLUSÃO

A regulamentação brasileira e do Estado do Rio Grande do Norte, no âmbito dos postos de combustíveis têm como objetivo garantir a qualidade dos combustíveis, prevenir fraudes e assegurar a segurança dos consumidores. Além disso, existem, por parte das autoridades, a proposta de estabelecer postos ecológicos, que buscam aderir a padrões ambientais, de segurança e saúde humana.

Esses postos são construídos levando em consideração a proteção ambiental e a recuperação de áreas degradadas, especialmente corpos d'água subterrâneos, a fim de evitar a contaminação provocada por vazamentos de derivados de petróleo.

Para cumprir esses objetivos, é necessário realizar inspeções nos equipamentos e instalações e implementar medidas de prevenção, como sistemas de contenção de vazamentos, tratamento adequado de efluentes e destinação correta de resíduos sólidos e líquidos. Essas ações visam reduzir os efeitos adversos ao meio ambiente, preservar corpos d'água e garantir o cumprimento das leis ambientais e de segurança. O Projeto Selo Verde, iniciado em 2009 no Rio Grande do Norte, busca certificar postos que adotam práticas sustentáveis, promovendo um ambiente seguro e saudável.

A pesquisa em Santa Cruz/RN, focada na continuidade das condições de segurança passados 13 anos de implementação do Selo Verde, revelou que todos os postos inspecionados cumprem as normas de segurança e operam em conformidade.

Os resultados destacam a eficácia do Projeto Selo Verde na promoção de práticas sustentáveis e seguras, evidenciando a importância da certificação para garantir um ambiente de trabalho seguro e proteger o meio ambiente e a saúde pública.

Embora os postos inspecionados estejam em conformidade com as normas de segurança, foram identificadas áreas para melhoria, como a presença de extensões comuns e eletrodutos de PVC em algumas instalações elétricas, indicando a necessidade de ajustes para garantir total conformidade.

Em suma, a avaliação contínua das condições de segurança nos postos de serviços é essencial para garantir um ambiente de trabalho seguro e proteger o meio ambiente e a saúde pública, reforçando a importância da adesão a normas ambientais e de saúde.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13787, 1997. Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) nos postos de serviço. ABNT, Brasil, Rio de Janeiro.

ABNT NBR 13.786, 2006. Posto de serviço — Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis.

ABNT, Brasil, Rio de Janeiro. ABNT NBR 13783, 2005 Posto de serviço - Instalação do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis – SASC.

ABNT, Brasil, Rio de Janeiro. ABNT NBR 14605-2, 2009. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Sistema de drenagem oleosa – Parte 2: Projeto, metodologia de dimensionamento de vazão, instalação, operação e manutenção para posto revendedor veicular. ABNT, Brasil, Rio de Janeiro.

- ABNT NBR 15288, 2005. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor veicular (serviços) — Plano de atendimento a emergências. ABNT, Brasil, Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 15594-1, 2008. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Posto revendedor de combustível veicular (serviços) Parte 1: Procedimento de operação.
- ABNT. Rio de Janeiro, 2008. ABNT NBR 17.505-7, 2006. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários.
- ABNT. Rio de Janeiro. ABNT NBR 13784, 2008. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis (SASC).
- ABNT, Brasil, Rio de Janeiro. ABNT NBR 15594-3, 2008. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor de combustível veicular (serviços) Parte 3: Procedimento de manutenção. ABNT, Brasil, Rio de Janeiro.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 6, de 14 de dezembro de 2011.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000.
- Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego, 2019. Norma Regulamentadora nº 20 (NR 20). Brasil. Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União, 30 nov. 2000.
- Dias, G. M., 2012. Adequação Ambiental dos postos de combustíveis de Natal e recuperação da área degradada. Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte, v. 1, p. 169.
- Lopes, L.; Stopiglia, F.S.; Filho, L.V.M., Guimarães, D.H.P., Rosa, M.T.M. G., 2021. Prototype proposal for control and inspection of gas stations. In Proceedings of the 5th Brazilian Technology Symposium. Cham: Springer International Publishing, p. 357–366.
- Brasil. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

CAPÍTULO III

A CULTURA DE SEGURANÇA NAS EMPRESAS E SUA IMPORTÂNCIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

SAFETY CULTURE IN COMPANIES AND ITS IMPORTANCE IN PREVENTING ACCIDENTS

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-3

Itulo Sampaio Rodrigues ¹
Linary de Moura Sousa ²
Rhubens Ewald Moura Ribeiro ³
Eldelita Aguida Porfírio Franco ⁴

¹ Graduando do curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Dr. em Engenharia de Produção- UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Mestre em Administração - UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁴ Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

A cultura de segurança é um conjunto de práticas e valores que busca reduzir os perigos e riscos no local de trabalho, ajudando a prevenir acidentes e danos a integridade física. O objetivo da presente pesquisa pauta-se em analisar a importância da cultura de segurança nas organizações empresariais para a prevenção de acidentes. Para fundamentar a pesquisa houve a necessidade da efetivação de revisão bibliográfica, na qual se analisa teorias relacionadas a cultura de segurança com o objetivo de prevenção de acidentes, presentes em artigos científicos, disponibilizados em bases de dados, como destaque para a SCIELO e Google Acadêmico. Concluiu-se por meio da presente investigação que, além da prevenção de acidentes, a cultura de segurança nas empresas oferece uma série de vantagens adicionais tanto para a organização quanto para os empregados, tais como o incremento na eficiência, o aperfeiçoamento da reputação corporativa, o fomento ao bem-estar dos trabalhadores e a proteção do meio ambiente.

Palavras-chave: Cultura de segurança; Empresas. Prevenção de acidentes; Segurança no trabalho.

ABSTRACT

Safety culture is a set of practices and values that seeks to reduce dangers and risks in the workplace, helping to prevent accidents and damage to physical integrity. The objective of this research is to analyze the importance of safety culture in business organizations for the prevention of accidents. To support the research, there was a need to carry out a bibliographical review, which analyzed theories related to safety culture with the aim of preventing accidents, present in scientific articles, available in databases, with emphasis on SCIELO and Google Scholar. It was concluded through this investigation that, in addition to accident prevention, safety culture in companies offer a series of additional advantages for both the organization and employees, such as increased efficiency, improved corporate reputation, promotion of the well-being of workers and the protection of the environment.

Keywords: Safety culture; Companies. Accident prevention; Job security.

1. INTRODUÇÃO

A segurança no ambiente de trabalho é um assunto de extrema importância nas empresas atuais. Estabelecer uma cultura de segurança robusta é essencial para garantir a proteção dos colaboradores e otimizar o funcionamento das atividades laborais. Nos últimos anos, o conceito de cultura tem chamado a atenção tanto nas pesquisas sobre organizações quanto nas práticas de gestão, levando as empresas a adotarem a cultura de segurança como um princípio que deve ser respeitado por todos os membros. Diferentemente do que ocorria em décadas passadas, quando a atenção estava voltada para aspectos econômicos e racionais das corporações, hoje a preocupação se concentra em compreender como os integrantes da organização se relacionam de forma emocional e subjetiva, permitindo que cada um tenha a chance de realizar pequenas ações que promovam a segurança em seu cotidiano profissional.

Embora haja várias revisões nas regulamentações de segurança e nas diretrizes de proteção, muitas organizações continuam a lidar com elevados índices de acidentes laborais, pois não enxergam a segurança como uma parceira nas atividades do dia a dia. Isso evidencia que a ausência de uma cultura de segurança sólida pode ser um dos fatores críticos que levam a esses episódios, uma vez que não são abordados desde sua origem. (Dias, 2018)

Nos dias de hoje, nota-se uma crescente movimentação em reavaliar as metodologias clássicas nos estudos relacionados à segurança do trabalho. Essas abordagens têm se concentrado na investigação de questões específicas, como a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), a adoção de ações de proteção coletiva, capacitação, imposição de penalidades e a formação dos colaboradores, além da falta de adesão às normas de segurança e aos procedimentos laborais, que frequentemente não estão alinhados com as diretrizes de segurança do trabalho (Correa; Boletti, 2015).

Essas estratégias concentram-se em ações preventivas para evitar novos acidentes, levando em consideração o comportamento dos funcionários, que têm mostrado resultados limitados em comparação à necessidade de alterar fundamentalmente a gestão das operações. Muitas vezes, os métodos de trabalho não estão alinhados com as normas de segurança. Atualmente, a tendência global é integrar qualidade, meio ambiente, segurança e saúde ocupacional de forma ampla e prioritária na administração das empresas, assegurando que o ambiente, o bem-estar e a saúde dos colaboradores e da comunidade não sejam comprometidos.

Assim, a meta central deste estudo é examinar a relevância da cultura de segurança nas empresas para a redução de acidentes no local de trabalho. A problemática da pesquisa pauta-se no seguinte questionamento: qual a importância da cultura de segurança nas organizações empresariais para a prevenção de acidentes no ambiente de trabalho?

Para fundamentar a pesquisa houve a necessidade da efetivação de revisão bibliográfica, na qual se analisa teorias relacionadas à cultura de segurança com o objetivo de prevenção de acidentes, presentes em artigos científicos, disponibilizados em bases de dados, como destaque para a SCIELO e Google Acadêmico.

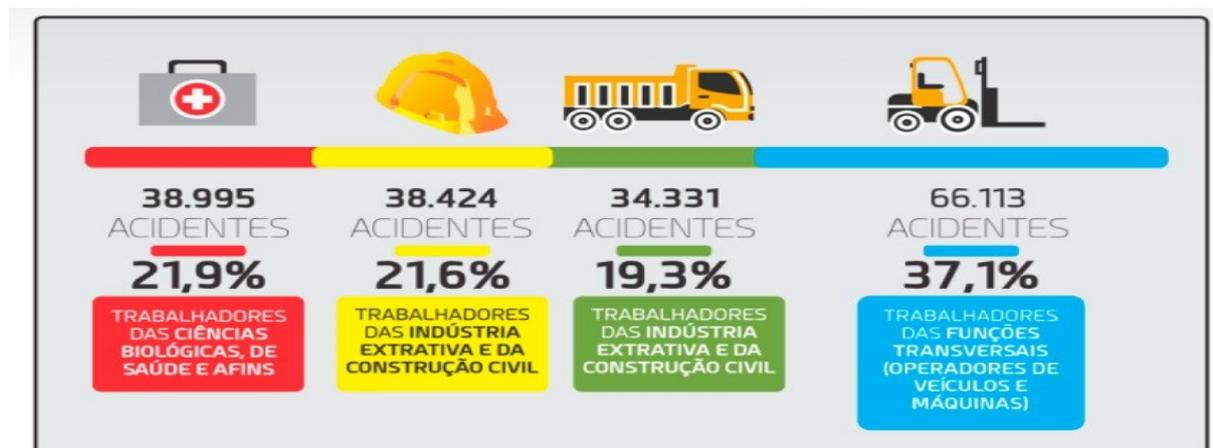
Justifica-se a escolha do tema em razão da necessidade de que haja em todas as empresas, independente, do ramo de atividade uma cultura de segurança do trabalho, sempre objetivando a proteção dos seres humanos que atuam como colaboradores e são imprescindíveis para o desenvolvimento das organizações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ACIDENTE DE TRABALHO

É importante ressaltar que existem diversas atividades no local de trabalho, sendo muito útil reconhecer quais os setores que apresentam o maior número de acidentes. (figura 1)

Figura 1. Ramos de atividade em que existe o maior número de acidentes de trabalho.



Fonte: Kaplan (2019)

Ao examinar a imagem relacionada às áreas de atuação com maior incidência de acidentes laborais, é evidente que os principais pontos de risco estão associados à realização de atividades multifuncionais, onde se requer o manuseio de máquinas e veículos.

Outros setores de atividades arriscadas que requerem uma cultura de segurança englobam o campo das ciências biológicas, saúde e áreas relacionadas, além da indústria de extração e construção.

2.2. CULTURA ORGANIZACIONAL

A revisão da bibliografia acerca da cultura organizacional tem o intuito de elucidar os conceitos que estão ligados à cultura de segurança e fundamentar o modelo proposto nesta dissertação, com ênfase na cultura de segurança. Portanto, o principal objetivo é ressaltar e detalhar os aspectos fundamentais desse conjunto de saberes que impactam a cultura de segurança, sem pretender apresentar uma síntese abrangente de todas as contribuições teóricas e empíricas existentes sobre cultura organizacional.

Primeiramente, é importante definir o que se entende por cultura. É necessário destacar que, desde tempos antigos, a exploração dos diferentes comportamentos de coletivos e nações começou a atribuir um sentido ao conceito de cultura (Silva; 2019).

Essa inquietação se faz presente nas análises de Heródoto, o famoso historiador grego, que abordou a estrutura social dos lícios, assim como nas concepções de Confúcio sobre a essência humana e as tradições que os distinguem. Além disso, essa preocupação também é refletida nas crônicas de Marco Polo, fundamentadas em suas viagens pela China, e nas descrições de exploradores europeus que se depararam com o que ficou conhecido como Novo Mundo (Zanelli, 2018).

Ao final do século XVIII e no início do XIX, a investigação sobre a cultura começou a se firmar como um ramo do conhecimento científico. Nesse cenário, o termo em alemão Kultur englobava todos os aspectos espirituais de uma sociedade, enquanto Civilization em francês focava, predominantemente, nos progressos materiais de um grupo (Silva, 2019).

O antropólogo britânico Edward Tylor (1832-1917) foi responsável por consolidar esses conceitos no seu livro "Primitive Culture", publicado em 1871, ao introduzir o termo "Culture" em inglês. Em sua definição etnográfica mais abrangente, ele refere-se a "todo o conjunto que compreende saberes, crenças, artes, moral, legislações, costumes ou quaisquer outras habilidades e hábitos que o ser humano adquire como parte de uma sociedade" (Tylor, 1901, p.1).

Ao apresentar essa definição, Tylor unificou em um único conceito todas as expressões da atividade humana, destacando a cultura como fruto de um aprendizado que ocorre dentro

de contextos sociais e históricos. Essa perspectiva se opõe à noção de que a cultura seria uma característica inata, passada de forma biológica (Silva, 2019).

A concepção de cultura, como é utilizada nos dias de hoje, tem suas raízes na antropologia e foi primeiramente delineada por Tylor. A relevância do antropólogo Tylor reside no seu papel como precursor ao sistematizar um conceito que há muito despertava o interesse humano ao longo do tempo (Silva, 2019).

A ideia de cultura organizacional tem suas raízes na antropologia cultural, destacando diversas correntes que enfocam diferentes aspectos desse fenômeno humano tão complexo. É importante entender que a noção de cultura organizacional não é homogênea nem simples (Freitas, 2022).

A variedade de conceitos sobre cultura organizacional pode ser evidenciada por algumas das análises realizadas por diferentes especialistas. Uma das definições mais recorrentes é a de Schein (2009), que caracteriza cultura como um conjunto de pressupostos fundamentais compartilhados e adquiridos por um grupo à medida que enfrenta desafios relacionados à adaptação ao ambiente externo e à preservação da coesão interna. Esse conjunto se revelou suficientemente eficaz para ser considerado válido e, assim, ensinado aos novos integrantes como a forma adequada de perceber, pensar e reagir diante desses desafios (Schein, 2009, p. 16).

Schein (2009) argumenta que todos os grupos criam culturas interligadas, e que cada definição de cultura é uma tentativa de normatização e integração; no entanto, muitas vezes, a verdadeira experiência histórica de um grupo não possibilita a formação de um paradigma claro e livre de ambiguidades.

Hofstede e Hofstede (2005) fazem uma analogia entre a programação de computadores e a mente humana para esclarecer o conceito de cultura. Segundo esses autores, os modos de pensar, sentimentos e comportamentos são semelhantes a programas mentais ou "software da mente". Isso não significa que as pessoas são programadas como máquinas, mas que suas reações são, em certa medida, influenciadas por esse programa mental desenvolvido no passado, que impacta suas respostas a novas situações, sejam elas criativas, destrutivas ou surpreendentes.

Para entender a cultura de segurança dentro das organizações, é importante estudar suas origens. A investigação sobre segurança em ambientes de trabalho frequentemente se iniciou na busca por compreender os fatores que levam a acidentes laborais. A evolução na

análise das causas de acidentes, que passou de explicações simplistas para abordagens mais elaboradas, inclui aspectos técnicos, materiais e humanos, além de causas relacionadas a sistemas e estruturas organizacionais, sinalizando uma nova fase na segurança do trabalho (Hale; Hovden, 1998; Sarkus, 2001).

2.3. CULTURA DE SEGURANÇA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES

O A ideia de cultura de segurança foi introduzida em 1988 no primeiro relatório técnico do International Nuclear Safety Advisory Group - INSAG. Esse documento revisou os fatores organizacionais vinculados ao desastre na usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, conforme relatado pela Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA em 1991. As falhas e transgressões de procedimentos que resultaram no acidente foram vistas como indicativos de uma cultura de segurança deficiente, tanto na usina de Chernobyl quanto em toda a indústria nuclear da extinta União Soviética. No relatório, a cultura de segurança é descrita como o "conjunto de características e atitudes de organizações e indivíduos que assegura que a segurança de uma instalação nuclear, dada sua relevância, será sempre uma prioridade máxima" (Insag, 1988, apud IAEA, 1991, p. 1).

Cooper (1998) ressalta a relevância da cultura de segurança, que não se limita à proteção, mas também traz benefícios significativos na qualidade, confiabilidade, competitividade e produtividade da empresa. Pesquisas mostram que uma cultura de segurança sólida é essencial para o avanço, êxito e eficiência do Sistema de Gestão de Segurança do Trabalho (SGST), uma vez que é em um contexto que favorece essa cultura que as posturas e ações dos colaboradores em relação à segurança se moldam e se tornam duradouras (Hudson, 2019).

Por esse motivo, a ideia de cultura de segurança tem gerado um interesse considerável, uma vez que sistemas de gestão tendem a operar de forma mais eficiente em organizações que já atingiram certo nível de maturidade em sua cultura de segurança. Essa cultura incentiva uma postura cuidadosa em relação ao inesperado, sendo um elemento crucial em instituições que se destacam pela alta confiabilidade, como as do setor aéreo e da indústria nuclear. Nessas áreas, o cerne do êxito em segurança reside na monitorização constante para prevenir surpresas, além da crença de que acidentes podem ocorrer a qualquer instante (Sutcliffe, 2021).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa está fundamentada em uma revisão bibliográfica ou literária por meio da análise de múltiplas teorias relacionadas com a cultura de segurança nas organizações empresariais e a respectiva importância na prevenção de acidentes. A coleta da base teórica ocorreu por meio da análise de artigos científicos, disponibilizados em múltiplas bases de dados, com destaque para a Scielo e o Google acadêmico, além da consulta em livros e documentos normativos sobre o tema investigado.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Para iniciar as discussões da investigação é válido analisar as informações mais atuais do Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (AEAT) de 2021, na qual concluiu-se que somente no Brasil contabilizou-se 536.174 acidentes relacionados ao trabalho. Dentre esses, 394.089 foram considerados acidentes típicos (aqueles que ocorrem durante o exercício das atividades laborais), 115.550 foram classificados como acidentes de trajeto (que acontecem quando o trabalhador se desloca entre sua casa e o local de trabalho ou vice-versa), e 26.535 foram reconhecidos como doenças ocupacionais (alterações de saúde causadas pelas condições laborais).

Informações do INSS apontaram que, em 2023, ocorreram 603.825 acidentes de trabalho e 2.694 mortes associadas a eles no Brasil. Além das implicações para a saúde dos trabalhadores e para as famílias afetadas, esses incidentes geram repercussões econômicas, acarretando uma queda na produtividade.

Conforme a plataforma Smartlab, que é gerida pelo Ministério Público do Trabalho e pela Organização Internacional do Trabalho, a somatória dos períodos de cada benefício concedido possibilita a análise da quantidade de dias de trabalho que foram comprometidos. Em 2022, foram contabilizados 17,9 milhões de dias perdidos devido a auxílio-doença provocados por acidentes laborais e 8,4 milhões de dias referentes a aposentadorias por invalidez também causadas por acidentes no trabalho no Brasil. Dentre as principais razões para esse grande volume de registros, destacam-se o descumprimento das normas de segurança, a flexibilização das regulamentações e a ausência de treinamentos adequados que enfatizem a relevância do cumprimento das diretrizes de segurança previamente mencionadas.

Com o intuito de facilitar a análise das diferentes modalidades de acidentes que podem acontecer no local de trabalho, o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (AEAT) utiliza uma classificação minuciosa, fundamental para entender as dinâmicas e as consequências desses incidentes. As categorias abarcam acidentes com Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) registrada; acidentes sem CAT registrada; acidentes típicos; acidentes de percurso e doenças ocupacionais.

O quadro 1 demonstra de forma clara essa classificação adotada pelo Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (AEAT):

Quadro 1. Classificação dos acidentes de trabalho

Espécie de acidente	Características
Acidentes com CAT Registrada	Trata-se de incidentes cujas Comunicações de Acidente de Trabalho (CAT) foram oficialmente registradas no Instituto Nacional do Seguro Social (INSS).
Acidentes sem CAT Registrada	Abarcam incidentes que, apesar de não possuírem a Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) documentada no INSS, são identificados por meio de vínculos técnicos, como o Nexo Técnico Profissional/Trabalho, Nexo Técnico Epidemiológico Previdenciário (NTEP), Nexo Técnico para Doença Equiparada a Acidente de Trabalho ou Nexo Individual.
Acidentes Típicos	Referem-se a incômodos resultantes diretamente da função exercida pelo empregado, quando há anotação através da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT).
Acidentes de Trajeto	Acontecidos ao longo do caminho entre a casa e o local de trabalho do empregado, também documentados através da CAT.
Doença do Trabalho	Abrangem enfermidades relacionadas à profissão e as que ocorrem no ambiente de trabalho. As primeiras são causadas pela realização de funções específicas, enquanto as últimas aparecem devido às condições particulares em que o trabalho é efetivado, conforme estabelecido no Anexo II do Regulamento da Previdência Social (RPS), aprovado pelo Decreto nº 3.048 de 6 de maio de 1999 (BRASIL, 2024).

Fonte: AEAT.

Ao focar nos fatores organizacionais na investigação de acidentes, surgiram diversas contribuições teóricas e práticas que destacam a importância da cultura organizacional na análise de acidentes, variando entre empresas com diferentes níveis de segurança (Silva, 2019).

Neste contexto, três importantes contribuições associadas a essa perspectiva se destacam: o modelo desenvolvido por Turner e Pidgeon (1997) referente a desastres causados pelo ser humano, o estudo de Zohar (1980) sobre a atmosfera de segurança e o relatório final do incidente na usina de Chernobyl, na Ucrânia, em 1988, que introduziu o conceito de cultura de segurança.

A análise dos fatores organizacionais que podem levar à ocorrência de acidentes foi sintetizada pela primeira vez no trabalho de Turner e Pidgeon (1997), presente no livro "Manmade disasters". Os autores investigam os processos dentro das organizações que antecedem um grande acidente ou desastre. Eles argumentam que esses eventos adversos significativos são "incubados" na estrutura organizacional, onde predominam crenças e normas inadequadas. Turner e Pidgeon (1997) examinaram 84 grandes acidentes e identificaram a presença de etapas que precedem esses incidentes. A primeira etapa aborda as normas e crenças que estão em vigor na organização, marcada pelo desrespeito e pela desvalorização das legislações existentes.

Um marco importante na investigação sobre acidentes organizacionais foi a pesquisa conduzida por Zohar (1980) a respeito do clima de segurança. O pesquisador explorou a importância das percepções coletivas dos empregados sobre segurança, utilizando essas informações como um indicativo das diversas condições de segurança nas empresas. Seus resultados revelaram que a cultura de segurança tem um impacto direto na eficácia dos programas de segurança, no comportamento dos funcionários e na taxa de ocorrências nas organizações. Este estudo é notável por ser a primeira análise quantitativa que permite descrever a segurança no âmbito organizacional, considerando a contribuição dos trabalhadores.

Por fim conclui-se que, conforme a IAEA (2022), estudos sobre incidentes em empresas revelam que falhas na cultura de segurança são um fator comum. Em resposta a essa realidade, o setor tem se esforçado para fortalecer essa cultura, que pode ser promovida em todas as fases da vida da organização. Durante uma pesquisa sobre a cultura de segurança em companhias do setor energético, foi observada uma correlação entre aspectos relacionados à cultura de segurança e a frequência de acidentes (Kaplan, 2019).

Colaboradores que vivenciaram acidentes frequentemente adotam uma perspectiva mais negativa sobre a cultura de segurança. Isso se reflete, por exemplo, em uma confiança lower nas estratégias de controle, em uma percepção diminuída da atenção que a gestão dedica à segurança e na inferioridade das informações coletadas (Lee, 2018).

A cultura organizacional desempenha um papel fundamental na proteção dos funcionários. A forma como essa cultura se desenvolve dentro de uma empresa pode levar a segurança a ser vista como uma prioridade ou, de forma oposta, como algo secundário em relação à produtividade. Por isso, é essencial entender qual é a cultura predominante e de

que maneira ela afeta a segurança, possibilitando a identificação das medidas necessárias para garantir que essa influência seja benéfica. Nesse aspecto, aparecem os níveis de maturidade da cultura organizacional no que diz respeito à segurança dos colaboradores, uma vez que, conforme o estágio em que a empresa se encontra, a segurança pode ser mais ou menos valorizada em sua estrutura interna (Sutcliffe, 2021).

Cooper (2018) identifica diversos aspectos que contribuem para o aprimoramento da cultura de segurança. Entre eles, destacam-se o comprometimento firme da liderança com a segurança no ambiente de trabalho; uma comunicação estreita e eficaz entre todas as camadas da organização; um controle de riscos mais rigoroso; uma força de trabalho experiente e estável; um processo de seleção de colaboradores bem estruturado e um sistema de promoção que seja justo e transparente; e a evolução de um sistema que valorize a segurança do trabalho, incluindo a análise de acidentes. Além dos pontos mencionados, o mesmo autor ressalta a importância de implementar políticas formais de segurança; dar à segurança a mesma relevância dos demais objetivos organizacionais; realizar investigações de todos os acidentes e incidentes; e auditar periodicamente o sistema de segurança para coletar dados que auxiliem na implementação de melhorias contínuas.

Por fim é válido compreender os principais fatores indicativos da maturidade da cultura de segurança na prevenção de acidentes nas organizações empresariais, independentemente do ramo de atividade.

A avaliação da cultura de segurança é feita através de fatores que a definem ou que indicam seu nível de maturidade. Contudo, não há um conjunto padronizado ou amplamente aceito de fatores para essa avaliação. Por essa razão, diversas pesquisas têm buscado identificar quais são os fatores mais significativos para a caracterização ou avaliação da cultura de segurança (Flin *et al.*, 2020).

Zohar (2005), um dos pioneiros no campo do clima de segurança, fez uma revisão de literatura para descobrir os melhores fatores que podem avaliar e caracterizar uma cultura de segurança, identificando os seguintes: atitudes da gerência em relação à segurança, influência do comportamento seguro na progressão profissional, impacto do comportamento seguro no status social, a posição dos profissionais de segurança dentro da organização, a importância e eficácia dos treinamentos de segurança, o nível de risco no ambiente de trabalho e a relação entre o esforço para a segurança e sua promoção.

Williamson et al. (2017) realizaram uma revisão semelhante e notaram uma baixa coincidência entre os fatores encontrados em diferentes estudos, porém destacaram dois fatores que se mostraram consistentes: a atitude dos gerentes e a dos empregados em relação à segurança no trabalho.

Flin et al. (2020) defende que há uma variedade de fatores em uso sendo agrupado os fatores identificados em cinco categorias: a) gerenciamento: relacionado às atitudes e comportamentos da gerência em relação à segurança; b) sistema de segurança: abrange diversos aspectos do gerenciamento de segurança, como comitês de segurança, permissões de trabalho, políticas de segurança e equipamentos de proteção; c) risco: envolve a percepção de riscos e atitudes em relação à segurança no ambiente de trabalho; d) pressão no trabalho: relacionada ao ritmo e carga de trabalho; e e) competência: refere-se às qualificações, habilidades e conhecimentos dos empregados para desempenhar suas funções.

Cooper (2018) listou aspectos que favorecem a melhoria da cultura de segurança, como o comprometimento dos líderes com a segurança, uma comunicação eficaz em todos os níveis organizacionais, maior controle sobre os riscos, uma força de trabalho estável e madura, práticas justas na seleção e promoção de pessoal, e iniciativas para reforçar a importância da segurança, incluindo a análise de acidentes. É essencial a adoção de políticas formais de segurança, a priorização da segurança como um dos principais objetivos organizacionais, a investigação de todos os acidentes e incidentes, e a realização de auditorias regulares no sistema de segurança para propiciar informações para melhorias contínuas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da pesquisa evidenciou-se que as normas que regulamentam a segurança no ambiente de trabalho nas organizações empresariais são rigorosas, e o Ministério do Trabalho e Previdência possui a autoridade para devida imposição de penalidades significativas àqueles que falham em seguir as diretrizes essenciais de segurança, sendo indispensável que líderes empresariais reconheçam que, além de cumprir a legislação, a prioridade com a segurança no ambiente de trabalho precisa ser uma estratégia que busca fortalecer a equipe e, por conseguinte, promover o crescimento sustentável da organização.

Salienta-se que a cultura de segurança dentro de uma empresa abrange as convicções, comportamentos, padrões e práticas que são comuns entre os colaboradores e a gestão. Essa cultura deve ser adotada por todas as empresas, especialmente aquelas que enfrentam

diversos fatores de risco, como é o caso da construção civil, setor industrial, mineração, postos de combustíveis, por exemplo.

Portanto, cultivar uma cultura de segurança no ambiente de trabalho é um dos melhores investimentos que uma organização empresarial pode realizar para o futuro, com múltiplos benefícios como a diminuição dos acidentes a níveis mínimos, aumento da competitividade da organização, uma vez que todos trabalham em conjunto; ampliação da produtividade ao perceber que fazem parte de uma empresa que valoriza a saúde e o bem-estar dos colaboradores, resultando assim em uma redução da rotatividade, pois a partir do momento em que há confiança e um estado de bem-estar, isso impulsiona o desenvolvimento, sendo dessa forma, inegável que empresas que cultivam uma cultura sólida de segurança ocupacional conseguem ter sucesso na redução de acidentes, lesões e enfermidades no ambiente laboral.

REFERÊNCIAS

- COOPER, D. Improving safety culture: a practical guide. Londres: Wiley, 1998.
- COOPER, D. Towards a model of safety culture. *Safety Science*, n. 56, 2018.
- CORREA, Vanderlei Moraes; BOLETTI, Rosane Rosner. Ergonomia: fundamentos e aplicações. Bookman Editora, 2015.
- DIAS, Márcio Carlos Ferreira. A cultura de segurança no trabalho: um estudo exploratório. *Sistemas & Gestão*, v. 13, n. 10, p. 604, 2018.
- FLIN, R. et al. Measuring climate: identifying the common features. *Safety Science*, n. 74, 2020.
- FREITAS, M. E. Cultura organizacional grandes temas em debate. *Revista de Administração*, v. 71, n.23, p. 22, 2022.
- HALE, A.R.; HOVDEN, J. Management and culture: the third age of safety. A review of approaches to organizational aspects to safety, health and environment. In: FEYER, A.M.; WILLIAMSON, A. (Ed.). *Occupational Injury: risk, prevention and intervention*. London: Taylor & Francis, 1998.
- HUDSON, P. Implementing a safety culture in a major multi-national. *Safety Science*, n. 64, p.723, 2019.
- KAPLAN, B. Assessing safety culture. *Nuclear Safety*, v. 444, n. 12, p. 172, 2019.
- LEE, T. Assessment of safety culture at a nuclear reprocessing plant. *Work & Stress*, v. 21, n. 8, p. 22, 2018.

- NEAL, A.; GRIFFIN, M.A.; HART, P.M. The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. *Safety Science*, n.34, p. 99-119, 2000.
- PIDGEON, N. Safety culture and risk management in organizations. *Journal of CrossCultural Psychology*, v. 22, n. 1, p. 129-140, 1991.
- SILVA, N. *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2019.
- SMIRCICH, L. Concepts of culture and organizational analysis. *Administrative Science Quarterly*, v. 28, p. 339-358, 1983.
- SUTCLIFFE, K. M. *Managing the unexpected. Assuring high performance in an age of complexity*. São Francisco: JOSSEY-BASS, 2021.
- TYLOR, E. *Primitive Culture*. New York: Haper Torchbooks, 1901.
- WILLIAMSON, A. M. et al. The development of a measure of safety climate: the role of safety perceptions and attitudes. *Safety Science*, v. 38, n. 1-3, p. 15-27, 2014.
- ZANELLI, J.C. *Cultura organizacional*. (Org.). *Psicologia, organizações e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2018.
- ZOHAR, D. A multilevel model of safety climate: cross-level relationships between organizational and group-level climates. *Journal of Applied Psychology*, v. 90, n. 4, p. 616-628, 2005.

CAPÍTULO IV

DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE EPI'S EM PEQUENAS EMPRESAS

CHALLENGES OF IMPLEMENTING PPE IN SMALL BUSINESSES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-4

Edvard da Silva Terto Junior¹
Eldelita Aguida Porfírio Franco²
Rhubens Ewald Moura Ribeiro³
Calline Sekeff Budaruiche da Silva Fonseca⁴
Aluysio Ricardo Nunes Fonseca⁵
Gilberto de Araújo Costa⁶

¹ Graduando do curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Mestre em Administração – UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / rhubens.ribeiro@gmail.com

⁴ Contadora Especialista em Departamento Pessoal – Contserv/A Cara da Riqueza. Docente Cursos Livres – Internet.

⁵ Doutorando em Biotecnologia – UFPI. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / admaluysio@gmail.com

⁶ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

Este trabalho aborda os desafios enfrentados pelas pequenas empresas na implementação de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e a importância da conscientização e cultura de segurança no ambiente de trabalho. A necessidade de um local de trabalho seguro é amplamente reconhecida, no entanto, muitos trabalhadores ainda não utilizam os EPIs de forma adequada, o que aumenta os riscos de acidentes e doenças ocupacionais. Os objetivos deste estudo incluem analisar a situação atual das pequenas empresas em relação à aquisição e uso de EPIs, discutir as Normas Regulamentadoras pertinentes e propor medidas que possam atenuar as dificuldades enfrentadas por essas organizações. A metodologia adotada foi uma revisão bibliográfica explorativa e descritiva, que possibilitou a coleta e análise de dados sobre as práticas de segurança do trabalho e as condições laborais no Brasil. Os resultados indicam que, apesar da existência de legislações como a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e as Normas Regulamentadoras, persistem lacunas na aplicação efetiva dessas normas. A falta de conscientização entre os trabalhadores e a negligência por parte das empresas em oferecer treinamentos adequados foram identificadas como fatores críticos para a ineficácia das práticas de segurança. Dentre as sugestões apresentadas,

destaca-se a necessidade de promover uma cultura de segurança que envolva tanto empregadores quanto empregados. Sobretudo, recomenda-se a criação de políticas públicas que incentivem a aquisição de EPIs e a capacitação dos trabalhadores, bem como a necessidade de uma fiscalização mais rigorosa para garantir a observância das normas estabelecidas. A implementação de medidas de segurança eficazes é essencial para a proteção da saúde dos trabalhadores e para a melhoria das condições laborais nas pequenas empresas.

Palavras-chave: Equipamento de Proteção Individual; Trabalhadores; Normas regulamentadoras.

ABSTRACT

This work addresses the challenges faced by small businesses in the implementation of Personal Protective Equipment (PPE) and the importance of awareness and safety culture in the workplace. The need for a safe work environment is widely recognized; however, many workers still do not use PPE properly, increasing the risks of accidents and occupational diseases. The objectives of this study include analyzing the current situation of small businesses concerning the acquisition and use of PPE, discussing relevant Regulatory Norms, and proposing measures that could alleviate the

difficulties faced by these organizations. The methodology adopted was an exploratory and descriptive bibliographic review, which enabled the collection and analysis of data on occupational safety practices and labor conditions in Brazil. The results indicate that, despite the existence of legislation such as the Consolidation of Labor Laws (CLT) and Regulatory Norms, gaps persist in the effective application of these regulations. The lack of awareness among workers and the negligence of companies in providing adequate training were identified as critical factors for the ineffectiveness of safety practices. Among the suggestions

presented, there is a need to promote a safety culture that involves both employers and employees. Moreover, it is recommended to create public policies that encourage the acquisition of PPE and the training of workers, as well as the need for stricter oversight to ensure compliance with established norms. Implementing effective safety measures is essential for protecting workers' health and improving labor conditions in small businesses.

Keywords: Personal Protective Equipment (PPE); Workers; Regulatory Norms.

1. INTRODUÇÃO

A segurança no ambiente de trabalho é uma preocupação essencial para qualquer organização, sendo responsável por garantir a integridade física e mental dos colaboradores. Dentre as medidas preventivas mais importantes, o uso adequado dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) desempenha um papel fundamental na minimização de riscos ocupacionais, contribuindo para a prevenção de acidentes de trabalho (Lamattina; Morais, 2024).

Os EPIs são dispositivos ou produtos, de uso individual, destinados a proteger a saúde e a integridade física do trabalhador. Eles são específicos para diferentes atividades, variando conforme os riscos identificados no ambiente de trabalho (Dutra *et al.*, 2024). Entre os exemplos mais comuns de EPIs estão capacetes, luvas, óculos de proteção, máscaras, botas, cintos de segurança e protetores auriculares. Cada EPI é projetado para proteger uma parte do corpo ou reduzir os efeitos de potenciais acidentes, sendo obrigatório seu fornecimento e utilização em determinadas atividades laborais (Trubetskov *et al.*, 2023).

No Brasil, a legislação que regulamenta o uso dos EPIs, como a Norma Regulamentadora nº 6 (NR-6), exige que os empregadores forneçam os equipamentos necessários, de acordo com os riscos presentes em cada função desempenhada (Brasil, 2022). Entretanto, a implementação adequada dos EPIs em pequenas empresas se revela um grande desafio (Pantaleão, 2023).

Ao contrário de grandes corporações, as pequenas empresas enfrentam limitações financeiras, operacionais e, muitas vezes, falta de conhecimento sobre as normativas de segurança. Essas empresas, que constituem uma parcela significativa do mercado,

frequentemente apresentam dificuldades para se adequar às exigências legais, o que pode resultar em elevados índices de acidentes de trabalho e penalizações (Cisz, 2015).

Além disso, fatores como a falta de conscientização dos trabalhadores, a ausência de uma cultura organizacional voltada à segurança e os custos associados à aquisição e manutenção dos EPIs tornam a implementação dessas medidas mais complexa. Em muitos casos, a gestão acaba priorizando questões financeiras imediatas em detrimento da segurança no trabalho, aumentando a exposição dos funcionários a riscos que poderiam ser evitados (Lamattina; Morais, 2024).

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo investigar os desafios enfrentados pelas pequenas empresas na implementação de EPIs, analisando os principais obstáculos, como a conscientização sobre as normas de segurança, os custos envolvidos e a eficácia das fiscalizações. A pesquisa busca, ainda, propor estratégias que possam facilitar a adoção dessas medidas, contribuindo para a promoção de um ambiente de trabalho mais seguro e alinhado às exigências legais.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa é caracterizada como uma pesquisa bibliográfica, de caráter exploratório e descritivo. A revisão bibliográfica permite identificar e discutir as principais dificuldades enfrentadas pelas pequenas empresas na implementação de EPIs, além de explorar soluções e práticas recomendadas na literatura especializada.

2.1. FONTES DE PESQUISA

As fontes utilizadas para essa revisão bibliográfica incluíram:

- Artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais, preferencialmente indexados em bases de dados como Scielo, PubMed, e CAPES.
- Livros que abordam segurança do trabalho, legislação trabalhista e a gestão de EPIs.
- Normas regulamentadoras (NRs), em especial a Norma Regulamentadora nº 6 (NR-6), que dispõe sobre o uso de EPIs.
- Documentos legais e diretrizes de órgãos governamentais, como o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT).

2.2. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Os critérios de inclusão foram:

- Publicações realizadas nos últimos 05 anos, de forma a garantir a atualidade das discussões.
- Trabalhos que abordem especificamente pequenas empresas e a implementação de EPIs.
- Fontes que tratem das dificuldades financeiras, culturais e operacionais relacionadas à implementação de EPIs.

Os critérios de exclusão foram:

- Trabalhos que tratem de empresas de grande porte ou multinacionais, por não serem o foco da pesquisa.
- Publicações que não estejam disponíveis em formato completo e gratuito ou que apresentem baixa relevância científica.

2.3. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

As palavras-chave utilizadas para as buscas incluíram: “EPIs”, “segurança do trabalho”, “pequenas empresas”, “desafios da implementação”, “Norma Regulamentadora 6 (NR-6)” e “gestão de EPIs”.

Foram selecionadas publicações que contribuam para a compreensão dos desafios enfrentados pelas pequenas empresas na adoção e no uso correto dos EPIs, bem como possíveis soluções para essas dificuldades.

2.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos por meio dessa revisão foram analisados de forma qualitativa, buscando-se identificar as principais categorias de dificuldades enfrentadas pelas pequenas empresas. Essas categorias incluem aspectos econômicos, culturais, de conscientização e de fiscalização, conforme descrito nas publicações consultadas.

A análise envolveu a comparação entre os diferentes estudos e a identificação de pontos comuns e divergentes, de modo a construir uma síntese que permita a compreensão global do tema. Sobretudo, foram destacadas as sugestões e práticas recomendadas pelos autores para melhorar a implementação de EPIs em pequenas empresas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) são dispositivos essenciais utilizados para garantir a segurança e a integridade física dos trabalhadores em diversas áreas de risco. Eles atuam como uma barreira entre o trabalhador e os perigos específicos do ambiente de

trabalho, minimizando a exposição a agentes físicos, químicos, biológicos, entre outros (Dutra *et al.*, 2024).

O conceito de EPIs teve seu impulso inicial com a Revolução Industrial e a Primeira Guerra Mundial, períodos em que o aumento das atividades laborais nas fábricas e as demandas da guerra intensificaram os riscos ocupacionais, ampliando a necessidade de medidas de prevenção contra acidentes e doenças (Leite, 2022).

As primeiras Normas Regulamentadoras (NRs) no Brasil surgiram em 1919, com a promulgação da Lei nº 3.724, que estabeleceu algumas diretrizes para regular as relações e condições de trabalho, além de promover a segurança dos trabalhadores (Souza *et al.*, 2023). Este marco inicial deu origem a um longo percurso de regulamentações trabalhistas, consolidado posteriormente pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) em 1943, que, sob o governo de Getúlio Vargas, incorporou uma série de direitos e proteções para trabalhadores urbanos e rurais (Camisassa, 2019).

A CLT consolidou uma série de direitos trabalhistas e reforçou a necessidade de um ambiente de trabalho mais seguro. Em 1966, a criação da Fundacentro, vinculada ao Ministério do Trabalho, deu mais suporte para o estudo das condições trabalhistas e o desenvolvimento de medidas de segurança no trabalho. Esse avanço culminou, em 1978, com a publicação das NRs, que definem práticas obrigatórias para a segurança e a saúde dos trabalhadores, sendo a NR-6 a norma específica sobre EPIs (Leite, 2022).

A NR-6 estabelece que os EPIs são dispositivos de uso individual, destinados a proteger o trabalhador contra riscos que possam comprometer sua saúde e segurança no ambiente de trabalho. Entre os EPIs mais comuns estão os capacetes, para proteção contra impactos na cabeça; as luvas, que protegem as mãos contra riscos químicos e mecânicos; os protetores auriculares, para atenuar o ruído em ambientes industriais; e os óculos de segurança, que protegem os olhos de partículas ou produtos químicos (Brasil, 2022).

Outro ponto essencial da regulamentação de EPIs está na Portaria MTE Nº 1.369, que reforça a necessidade de Certificado de Aprovação (CA) dos EPIs. Esse certificado é emitido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e atesta que o EPI foi testado e aprovado para uso, garantindo sua eficiência e proteção adequada contra os riscos especificados (Brasil, 2024).

Para obter o CA, o fabricante ou importador do EPI deve enviar o produto a laboratórios credenciados para testes específicos, garantindo que ele cumpre os requisitos

técnicos e de segurança estabelecidos pelas NRs. Um ponto essencial da Portaria MTE Nº 1.369 é a exigência de que o CA tenha uma validade limitada, geralmente entre dois e cinco anos, dependendo do tipo de equipamento e de seus materiais de composição (Brasil, 2024).

Esse prazo garante que os equipamentos sejam revisados periodicamente, assegurando que estejam atualizados quanto aos padrões de segurança e tecnologia. Quando o prazo de validade do CA expira, o EPI precisa ser reavaliado e submetido a novos testes para renovação do certificado, processo que verifica se ele ainda oferece o nível de proteção exigido, considerando o desgaste do tempo e a evolução dos materiais e tecnologias de segurança.

Um ponto importante é que o CA deve estar visivelmente identificado no EPI, facilitando a fiscalização e a verificação por parte dos empregadores e trabalhadores. Essa identificação permite que os usuários certifiquem-se da validade e autenticidade do equipamento, promovendo transparência e confiança em sua utilização. A Portaria MTE Nº 1.369 também responsabiliza o empregador pela aquisição de EPIs com CA vigente e válido, além de exigir que os EPIs estejam em bom estado de conservação, sendo substituído ou ajustado sempre que necessário.

A Portaria MTE Nº 1.369 é de suma importância pois contribui diretamente para a criação de uma cultura de segurança, já que o uso de EPIs certificados minimiza os riscos de acidentes e doenças ocupacionais. Esse processo de certificação e validação contínua é fundamental para garantir que os trabalhadores estejam devidamente protegidos e que o ambiente laboral seja seguro e conforme as normas vigentes (Brasil, 2024).

Apesar desses avanços quanto a legislação, o uso efetivo de EPIs ainda enfrenta desafios, especialmente em pequenas empresas, onde fatores econômicos e culturais dificultam a implementação adequada desses dispositivos. Por isso, a evolução dos EPIs não se limita ao desenvolvimento de novos dispositivos, mas inclui também a promoção de uma cultura de segurança e a fiscalização adequada do cumprimento das normativas de segurança do trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos em relação ao uso de EPIs em pequenas empresas revela um panorama complexo, marcado por diversas dificuldades e desafios. Para facilitar a discussão e a compreensão dos aspectos mais relevantes, os resultados serão apresentados

em tópicos que abordam três eixos principais: as dificuldades econômicas e financeiras enfrentadas por essas organizações, a conscientização e a cultura de segurança no ambiente laboral, e a fiscalização e o cumprimento das Normas Regulamentadoras.

Cada um desses aspectos contribui de maneira significativa para a eficácia ou ineficácia das práticas de segurança do trabalho, refletindo não apenas as condições de saúde e segurança dos trabalhadores, mas também o comprometimento das empresas com a criação de ambientes de trabalho seguros e adequados.

4.1. DIFICULDADES ECONÔMICAS E FINANCEIRAS

A aquisição de EPIs por pequenas empresas apresenta um desafio financeiro significativo, devido ao custo elevado desses equipamentos e ao orçamento geralmente limitado dessas organizações (Barros *et al.*, 2022). De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), o alto custo de EPIs adequados para garantir a segurança dos trabalhadores representa um peso financeiro para essas empresas, que frequentemente operam com margens de lucro reduzidas e menos recursos para investir em segurança do trabalho (Sebrae, 2020).

Nos últimos anos, o aumento do preço dos EPIs foi impulsionado pela alta demanda global devido à pandemia de COVID-19, que elevou os preços de equipamentos como máscaras, luvas e óculos de proteção (Cohen; Rodgers, 2020). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam uma alta nos custos médios de itens básicos de segurança, dificultando ainda mais a aquisição desses materiais por empresas de pequeno porte. Enquanto empresas maiores conseguem negociar preços mais baixos ao comprar em grande volume, pequenas empresas têm acesso limitado a descontos, tornando o custo unitário de cada EPI relativamente mais alto para elas (Freitas, 2023).

Para exemplificar, em setores como a construção civil, o custo médio de um kit completo de EPIs por trabalhador pode variar entre R\$ 200 a R\$ 500, incluindo capacete, luvas, óculos e botas de segurança. Esse valor é elevado para microempresas que possuem cerca de 10 a 20 funcionários, o que totalizaria um investimento inicial entre R\$ 2.000 e R\$ 10.000 somente para EPIs (Santos *et al.*, 2022).

Esse investimento impacta diretamente o fluxo de caixa, uma vez que muitos desses equipamentos têm vida útil curta e precisam ser substituídos periodicamente, especialmente em ambientes de trabalho de alta exposição, como obras de construção civil e indústrias de

fabricação (Silva; Oliveira; Bovério, 2020). Além do mais, é necessário considerar o custo de manutenção e substituição dos equipamentos em caso de desgaste, bem como o fornecimento de treinamentos para o uso correto dos EPIs, que são exigidos pela legislação (Barros *et al.*, 2022).

Devido à inflação e ao aumento do custo de importação de materiais de segurança, os preços de EPIs se mantêm elevados em comparação a anos anteriores, com alguns produtos essenciais, como máscaras e luvas, custando até 30% a mais do que em 2019 (Silva *et al.*, 2021).

Para Vieira (2021), as pequenas empresas enfrentam um cenário econômico desafiador com aumentos recorrentes em matérias-primas e despesas gerais, essa realidade torna a compra de EPIs uma tarefa complexa e onerosa, muitas vezes levando-as a priorizar áreas diretamente ligadas à produção em detrimento da segurança dos trabalhadores.

De acordo com Silva, Oliveira e Bovério (2020), o acesso limitado a incentivos financeiros agrava ainda mais esse cenário. Poucas políticas públicas são direcionadas especificamente para apoiar pequenas empresas na aquisição de EPIs, o que restringe a capacidade dessas organizações de atender integralmente às exigências de segurança sem comprometer seu equilíbrio financeiro.

Segundo Chmurzynski (2024), a situação financeira de pequenas empresas tem oscilado, com o pior índice registrado em 2016, atingindo 29,5 pontos – um reflexo direto das altas taxas de juros que, em 2015, chegaram a 14,25% ao ano. Esse índice teve oscilações entre 2015 e 2019, sempre abaixo da média histórica de 38,4 pontos, e só se recuperou em 2020, com o lançamento de programas como o Programa Nacional de Apoio às Microempresas e Empresas de Pequeno Porte (Pronampe) e o Programa Emergencial de Acesso a Crédito (PEAC), criados para enfrentar a crise econômica resultante da pandemia de COVID-19.

Apesar disso, o Índice de Situação Financeira ainda não alcançou o marco de 50 pontos, o limite para uma avaliação favorável, refletindo a persistente dificuldade de acesso ao crédito para pequenos empreendedores. A falta de subsídios ou de linhas de crédito específicas para EPIs dificulta a adequação das pequenas empresas às normas regulamentadoras, gerando um círculo vicioso em que a escassez de recursos leva ao descumprimento de normas e ao aumento do risco de acidentes (Chmurzynski, 2024).

Assim, a carga financeira imposta pela obrigatoriedade dos EPIs, embora essencial para a segurança no trabalho, representa um desafio real para as pequenas empresas, que precisam equilibrar a sustentabilidade econômica com a conformidade com as normas de segurança e a proteção de seus funcionários (Silva *et al.*, 2021).

Para atenuar esses impactos financeiros e viabilizar a implementação de medidas de segurança, pequenas empresas podem adotar algumas estratégias, como por exemplo, priorizar riscos mais críticos para o setor, permitindo uma alocação de recursos mais eficiente, focando nos equipamentos essenciais para a segurança (Vieira, 2021).

Outra medida é a implementação de treinamentos online, com o auxílio de consultorias externas, visando reduzir os custos com capacitações presenciais. Recursos gratuitos, como manuais e guias de segurança, disponíveis online, também são uma alternativa acessível para auxiliar na criação de uma cultura de segurança no ambiente de trabalho (Trubetskov, 2023).

No que se refere à compra de EPIs, Lamattina e Morais (2024) destacam que é importante realizar uma pesquisa criteriosa de fornecedores para garantir tanto a qualidade dos equipamentos quanto o melhor custo-benefício. Silva *et al.* (2021), complementam que a negociação com fornecedores em busca de descontos para compras em volume também pode reduzir os custos iniciais. Enquanto que para Silva, Oliveira e Bovério (2020) a manutenção preventiva de máquinas e equipamentos deve ser adotada para minimizar riscos e evitar despesas com reparos de emergência.

Embora não explicitamente mencionado nas NRs, algumas políticas públicas podem oferecer incentivos fiscais para empresas que investem em segurança do trabalho, incluindo a aquisição de EPIs. Isso pode incluir deduções fiscais ou subsídios. Então cabe aos empregadores conhecerem e se atualizarem das Normas afim de se beneficiarem quanto a essa prática.

Para garantir maior segurança financeira, as pequenas empresas podem ainda avaliar a contratação de seguros contra acidentes, que ajudam a cobrir despesas médicas em casos de incidentes, mitigando o impacto financeiro de possíveis sinistros. Implementar uma política interna de segurança e promover essa cultura entre os funcionários é outra medida fundamental, fortalecendo o comprometimento com o uso adequado dos EPIs e com a manutenção de práticas seguras (Silva *et al.*, 2021).

4.2. CONSCIENTIZAÇÃO E CULTURA DE SEGURANÇA

A conscientização e a promoção de uma cultura de segurança nas pequenas empresas representam desafios adicionais na implementação adequada dos EPIs. Estudos como o de Balkhyour, Ahmad e Rehan (2019) indicaram que, em muitas pequenas empresas, a cultura organizacional não enfatiza a importância da segurança no trabalho de forma contínua, o que resulta em uma compreensão limitada sobre o uso adequado de EPIs e uma percepção distorcida sobre os riscos envolvidos.

Em um estudo recente, Khoshakhlagh *et al.* (2024) identificaram que, entre 369 trabalhadores pesquisados, apenas 267 (72,4%) utilizavam algum tipo de EPI, embora nem sempre estivessem equipados com todos os EPIs necessários para o desempenho seguro de suas funções. Outros 102 indivíduos, correspondendo a 27,7% da amostra, relataram não utilizar nenhum tipo de EPI, expondo-se assim a maiores riscos de acidentes e doenças ocupacionais. Esses dados revelam um cenário alarmante o que intensifica a responsabilidade das empresas em prevenir e mitigar riscos.

Já um levantamento feito pelo Sebrae (2020), identificou que a falta de treinamento e de instruções adequadas faz com que trabalhadores não reconheçam a importância dos EPIs ou os utilizem de maneira incorreta, comprometendo sua própria segurança.

A falta de ênfase contínua na importância da segurança no trabalho acaba limitando a compreensão dos trabalhadores sobre o uso correto dos EPIs e distorcendo sua percepção sobre os riscos envolvidos. Em resposta a esses desafios, a Norma Regulamentadora 01 (NR-01) estabelece um conjunto de diretrizes obrigatórias tanto para empregadores quanto para trabalhadores, visando fortalecer a segurança e saúde no ambiente de trabalho.

Entre os principais dispositivos previstos na NR-01, destacam-se as obrigações dos trabalhadores de cumprir as disposições legais e regulamentares, incluindo as ordens de serviço expedidas pelo empregador. Além disso, a norma exige que o trabalhador se submeta aos exames médicos periódicos, colaborando diretamente com a organização na aplicação das normas de segurança. Também é de responsabilidade do trabalhador utilizar o EPI fornecido pelo empregador, de modo a garantir sua proteção e reduzir os riscos associados à função exercida (Brasil, 2019).

A NR-01, atualizada pela Portaria MTE nº 342 de 21 de março de 2024, ainda prevê que, diante de uma situação que ofereça risco grave e iminente para a vida ou saúde, o trabalhador tem o direito de interromper suas atividades e deve comunicar imediatamente

seu superior hierárquico. É importante destacar que o empregador, por sua vez, está proibido de exigir o retorno do trabalhador às atividades até que todas as medidas corretivas necessárias sejam implementadas para a eliminação ou redução do risco identificado (Brasil, 2019).

Essa norma enfatiza a importância de comunicação e treinamento constante sobre segurança, estabelecendo que as informações referentes aos riscos e ao uso de EPIs sejam transmitidas de forma regular. Essas orientações podem ocorrer durante os treinamentos formais, em diálogos de segurança ou através de documentos físicos ou eletrônicos.

Com as atualizações constantes das normas, tornou-se imprescindível que as empresas mantenham um registro detalhado e específico dos treinamentos oferecidos. Isso abrange desde a listagem de participantes até a periodicidade e o conteúdo abordado em cada sessão (Camisassa, 2015). Além de assegurar que os trabalhadores estão atualizados quanto às práticas de segurança, essa documentação é exigida para fins de fiscalização, uma vez que auditores do trabalho verificam se as empresas cumprem as normativas de segurança e saúde ocupacional.

Outro aspecto importante é o sistema de controle e documentação não apenas dos treinamentos, mas também da entrega e uso dos EPIs. O registro detalhado de quando e para quem cada equipamento foi entregue torna-se essencial tanto para o cumprimento das normas quanto para a proteção da empresa em caso de eventuais acidentes. Esse controle organizado de entrega e treinamento não é apenas um requisito legal, mas também um reforço significativo na criação de um ambiente seguro, onde os trabalhadores têm total clareza sobre seus direitos e deveres, minimizando riscos de incidentes e melhorando o clima organizacional (Brasil, 2024).

A NR-01 reforça, assim, a obrigatoriedade dos empregadores de oferecerem capacitação adequada e atualizada, documentando e monitorando a participação dos empregados para garantir que estejam plenamente conscientes das práticas de segurança.

Segundo Camisassa (2015), a adoção de medidas como essas é fundamental para promover um ambiente de trabalho mais seguro e alinhado às normas vigentes, promovendo uma cultura de segurança que se reflete na integridade física e psicológica dos trabalhadores.

Apesar de as pequenas empresas, em sua maioria, não contarem com setores especializados em segurança do trabalho, o que pode reduzir o incentivo e as oportunidades

para a realização de treinamentos e campanhas educativas, é possível mitigar esses desafios por meio de estratégias acessíveis e adaptáveis.

Conforme aponta Marques (2019), uma abordagem prática é que os empregadores se organizem para realizar diálogos diários ou semanais sobre segurança no trabalho, integrando a conscientização ao cotidiano das atividades da empresa. Essas conversas sobre segurança, são momentos curtos e eficazes para instruir os trabalhadores sobre o uso correto dos EPIs e práticas de prevenção, além de reforçar as diretrizes das Normas Regulamentadoras.

Outro ponto essencial é a parceria com serviços especializados externos, como consultorias de segurança no trabalho, que podem fornecer orientações periódicas, treinamentos rápidos e avaliações de risco personalizadas para o contexto de cada empresa. Essa terceirização pode ser uma solução economicamente viável para empresas menores, que podem contratar treinamentos de forma pontual e receber certificações conforme as exigências legais.

Sobretudo, a tecnologia também pode ser uma aliada: pequenos empregadores podem utilizar aplicativos ou plataformas digitais para organizar a documentação de EPIs e certificações, registrar a participação em treinamentos e monitorar o cumprimento das normas de segurança. Com esses registros organizados e de fácil acesso, a empresa reduz a exposição a riscos legais e assegura que todos os trabalhadores estejam informados e capacitados. Essas práticas, ainda que simples, podem elevar significativamente o padrão de segurança nas pequenas empresas, promovendo uma cultura de prevenção que beneficia tanto a integridade dos trabalhadores quanto o desempenho da organização.

A literatura sobre segurança no trabalho aponta que a conscientização dos trabalhadores e a criação de uma cultura de segurança são fatores essenciais para a efetividade do uso de EPIs (Cisz, 2015). Para Lamattina e Morais (2024), um ambiente onde a segurança é parte da rotina aumenta a adesão ao uso dos equipamentos e melhora a postura dos trabalhadores diante dos riscos.

Salienta-se que os trabalhadores muitas vezes acreditam que os EPIs são desconfortáveis ou que restringem o desempenho das tarefas, fatores que contribuem para a resistência em adotar esses equipamentos. Essa percepção pode ser minimizada com os treinamentos que expliquem não só a importância dos EPIs, mas também as consequências potenciais de não utilizá-los (Abrantes, 2020).

A promoção de uma cultura de segurança também requer que a empresa incentive diálogos frequentes sobre segurança, faça inspeções regulares e adote políticas que reconheçam e recompensem o cumprimento das práticas de segurança, integrando a proteção dos trabalhadores como um valor organizacional fundamental.

De acordo com Abrantes (2020), a responsabilidade pelos riscos inerentes ao ambiente laboral recai sobre os empregadores, especialmente quando não adotam medidas preventivas para evitar lesões e acidentes. A omissão em relação à segurança, resultante da falta de cautela e da não implementação de precauções previstas, configura uma falha grave por parte das empresas. Essa situação exige uma abordagem integrada onde todos os agentes envolvidos — empregadores, trabalhadores, o setor público e os fabricantes de EPIs — têm responsabilidades específicas para garantir ambientes de trabalho seguros e prevenir acidentes.

O Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2023) informa que, entre 2012 e 2022, o Brasil registrou aproximadamente 6.774.553 notificações de acidentes de trabalho e mais de 2.293.297 afastamentos causados por incidentes ocupacionais (Vieira, 2021). Esses números refletem não apenas o impacto físico e emocional sobre os trabalhadores, mas também os efeitos econômicos nas empresas, que enfrentam uma redução na produtividade devido à ausência dos trabalhadores lesionados.

Portanto, para criar uma cultura de segurança e reduzir os índices de acidentes, é imprescindível que todos os envolvidos estejam conscientes de suas responsabilidades. Sendo a formação contínua e periódica fundamental não apenas para reforçar a importância do uso adequado dos EPIs, mas também para promover uma cultura de segurança que beneficia toda a organização.

4.3. FISCALIZAÇÃO E CUMPRIMENTO DAS NORMAS REGULAMENTADORAS

Embora a CLT e a Constituição Federal contemplem diretrizes fundamentais para assegurar os direitos dos trabalhadores, ainda persistem lacunas consideráveis para o desenvolvimento de políticas públicas que assegurem esses direitos de forma efetiva, e a aplicação prática das normas frequentemente encontra obstáculos.

Existe uma discrepância entre a legislação e sua prática nos ambientes de trabalho, revelando que o progresso nas regulamentações nem sempre é acompanhado por uma evolução correspondente no comportamento social (Camisassa, 2019).

Nesse cenário, as NRs precisam ter mais valor e ser cumpridas à risca. As NRs especificam o papel do empregador na promoção da segurança e do bem-estar dos seus funcionários, abrangendo aspectos que são considerados inegociáveis, como a proteção à vida e à integridade física dos trabalhadores (De Almeida, De Souza; Ferreira, 2022).

Entre as funções principais das NRs estão a prevenção de acidentes, a promoção da saúde mental no trabalho e o fortalecimento da reputação das empresas, que, ao seguirem essas diretrizes, demonstram compromisso com o bem-estar de seus colaboradores e com a responsabilidade social (Abrantes, 2020).

No que diz respeito à fiscalização e ao cumprimento das NRs, é crucial destacar as recentes atualizações na NR-6, que entraram em vigor com a Portaria MTE nº 1.369, de 14 de agosto de 2024. Essas modificações introduzem diretrizes mais rigorosas sobre a adequação dos EPIs em relação aos riscos presentes no ambiente de trabalho, além de estabelecer a importância da conservação, higienização e substituição periódica desses equipamentos.

Essa nova categorização permite uma identificação mais precisa dos riscos que cada tipo de EPI é capaz de mitigar, facilitando a escolha e o uso adequado desses dispositivos. A classificação dos EPIs foi dividida em três categorias: na Categoria I encontram-se os riscos menos graves, com avaliação de conformidade única. Na Categoria II contemplam-se os riscos intermediários, exigindo avaliação inicial e supervisão periódica. Enquanto na categoria III os riscos graves e letais, necessitando de um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) e avaliações periódicas rigorosas (Brasil, 2024).

Uma outra atualização é em relação a responsabilidade do fabricante, a Portaria reforça a obrigação do empregador em garantir que todos os trabalhadores tenham acesso a EPIs adequados e em perfeito estado, reafirma que a responsabilidade técnica, civil e penal pelos EPIs fabricados ou importados recai sobre os fabricantes e importadores, mesmo após a emissão do Certificado de Aprovação.

A importância da manutenção regular e da inspeção cuidadosa dos EPIs é enfatizada, com diretrizes detalhadas para garantir que os equipamentos permaneçam funcionais e seguros ao longo do tempo. Isso inclui a necessidade de limpeza e higienização adequadas, que devem ser realizadas conforme as recomendações do fabricante, e inspeções periódicas para verificar a integridade dos EPIs. Qualquer dano ou desgaste deve ser imediatamente avaliado, e o equipamento deve ser reparado ou substituído conforme necessário.

A portaria estabelece que os EPIs devem ser substituídos quando apresentarem sinais de desgaste significativo ou quando não cumprirem mais sua função protetiva. A responsabilidade pela substituição recai sobre o empregador, que deve garantir que os trabalhadores tenham acesso a equipamentos adequados e em bom estado.

Para facilitar a gestão dos EPIs, é recomendado que as empresas mantenham registros detalhados sobre a higienização, manutenção e substituição dos equipamentos. Isso pode incluir o uso de planilhas ou sistemas eletrônicos para controle de estoque e movimentação dos EPIs. Tais medidas visam garantir que os EPIs não apenas sejam disponibilizados, mas também mantidos em condições adequadas para efetiva proteção dos trabalhadores.

Adicionalmente, a atualização trouxe a substituição do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA) pelo Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). O PPRA era focado exclusivamente na identificação e controle de riscos ambientais, incluindo riscos físicos, químicos e biológicos, conforme estabelecido pela Norma Regulamentadora NR 9 (Brasil, 2021).

Já o PGR tem uma abordagem mais ampla, englobando não apenas riscos ambientais, mas também operacionais, ergonômicos e outros riscos que podem afetar a saúde e segurança dos trabalhadores. Dessa forma o PGR exige que as empresas identifiquem, avaliem e controlem os riscos presentes no ambiente de trabalho, promovendo um gerenciamento mais eficaz das condições no ambiente de trabalho.

A transição do PPRA para o PGR tem implicações diretas no cumprimento das normas relacionadas aos EPIs, por exemplo, o PGR promove uma visão holística que integra a gestão dos EPIs dentro do contexto mais amplo dos riscos ocupacionais. Isso significa que as empresas devem considerar como os EPIs se encaixam nas estratégias gerais de gerenciamento de riscos.

Com a abordagem mais abrangente do PGR, as empresas são incentivadas a revisar constantemente suas práticas de uso e manutenção dos EPIs, garantindo que estejam adequados às novas classificações de risco.

Essa mudança resulta em uma fiscalização mais rigorosa por parte dos órgãos competentes, uma vez que o PGR exige um controle contínuo e documentação detalhada sobre a gestão dos riscos e utilização.

Para pequenas empresas, a implementação do PGR é uma exigência fundamental nas atualizações das Normas Regulamentadoras. Apesar da limitação de recursos, essas

organizações podem adaptar o PGR de forma prática, utilizando ferramentas simples e acessíveis para mapear os riscos e desenvolver estratégias de mitigação.

A elaboração do PGR pode ser realizada em etapas, permitindo que as pequenas empresas construam um plano de gerenciamento que atenda às suas realidades e capacidades. Essa abordagem não só ajuda a cumprir a legislação, mas também promove um ambiente de trabalho mais seguro e saudável, contribuindo para a longevidade e o bem-estar dos trabalhadores. Assim, é essencial que as pequenas empresas reconheçam a importância dessas atualizações normativas e integrem a gestão de riscos em suas rotinas operacionais.

Quanto a supervisão e aplicação das 38 normas regulamentadoras atualmente vigentes fica a cargo da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST), vinculada ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A obrigatoriedade das NRs se aplica tanto a empregadores privados quanto a órgãos públicos da administração direta e indireta, incluindo os Poderes Legislativo, Judiciário e Ministério Público, desde que tenham empregados regidos pela CLT (Maas; Grilo; Sandri, 2018).

Para Camisassa (2019), a responsabilidade de assegurar o cumprimento das normas regulamentadoras não recai apenas sobre os órgãos de fiscalização, mas também é compartilhada entre empregadores e empregados, reforçando a importância de uma cultura colaborativa de segurança no trabalho.

A fiscalização eficaz e o rigor no cumprimento das normas regulamentadoras são essenciais para assegurar que as empresas, independentemente do porte, mantenham condições de trabalho dignas e seguras. A proteção dos trabalhadores depende de um sistema de inspeção do trabalho bem estruturado, capaz de responder às demandas de uma sociedade produtiva cada vez mais complexa e em constante transformação (Israel, 2023).

O avanço histórico nas regulamentações trabalhistas representa um compromisso contínuo com a segurança e o bem-estar dos trabalhadores, mas também revela a importância de uma fiscalização ativa e comprometida com a manutenção desses direitos (Abrantes, 2020).

Segundo dados do MTE, o Brasil possui uma média de um fiscal do trabalho para cada 11 mil trabalhadores formais, um número insuficiente para assegurar um monitoramento eficaz em todas as empresas, especialmente as de menor porte, que frequentemente ficam à margem da fiscalização rigorosa. Assim, essas empresas acabam se beneficiando, ainda que indiretamente, da baixa frequência de inspeções, o que pode resultar em práticas de

segurança inadequadas e no descumprimento das normas (Souza *et al.*, 2023; Abrantes, 2020).

Além do mais, quando há fiscalização e as empresas são autuadas, muitas vezes elas adotam apenas medidas paliativas para evitar multas, sem implementar mudanças estruturais que garantam a segurança a longo prazo. Dessa forma as pequenas empresas recorrem a estratégias de baixo custo e soluções temporárias para se adequar minimamente às exigências legais, mas sem comprometer recursos significativos para promover um ambiente de trabalho seguro de forma permanente (Maas; Grillo; Sandri, 2018). Esse cenário evidencia a necessidade de maior apoio governamental para que pequenas empresas possam não só se adequar às NRs, mas também incorporar práticas sustentáveis de segurança.

Segundo Lamattina e Morais (2024), o cumprimento efetivo das normas de segurança no trabalho também requer conscientização e comprometimento por parte dos gestores e colaboradores. Em pequenas empresas, onde a cultura de segurança é menos presente, a falta de conhecimento sobre a importância das NRs leva ao descumprimento das mesmas, aumentando a exposição dos trabalhadores a riscos. Para que a fiscalização seja mais eficaz e o cumprimento das normas seja consistente, é essencial que as pequenas empresas recebam mais orientações, incentivos e apoio técnico para atender às exigências legais sem comprometer sua estabilidade financeira.

Como penalidade por não cumprimentos de algumas normas, por exemplo, a não realização de treinamentos obrigatórios, como os previstos nas NR 10 e 35, pode acarretar multas que variam entre R\$ 2.972,03 e R\$ 3.547,70, dependendo da gravidade da infração e do número de funcionários envolvidos. As penalidades são aplicadas individualmente para cada colaborador que não tenha recebido o treinamento adequado.

Se a ausência de documentação e registros resultarem em acidentes graves ou fatais o empregador ou os responsáveis direto pela gestão de segurança podem responder criminalmente por negligência, dependendo da gravidade e da comprovação, ações que podem ser movidas pelo Ministério Público do Trabalho (MPT) ou pelos próprios trabalhadores, por danos morais ou materiais em caso de acidentes ou doenças ocupacionais.

A empresa poderá ser responsabilizada e obrigada a indenizar os trabalhadores prejudicados. A regularidade dos registros é, portanto, essencial não apenas para evitar penalidades, mas também para assegurar a proteção e o bem-estar dos trabalhadores, garantindo um ambiente de trabalho seguro e conforme as regulamentações.

Empresas que não mantêm documentação adequada podem perder certificações de qualidade em segurança do trabalho, o que afeta sua credibilidade e competitividade. Sobretudo, a empresa pode sofrer sanções em licitações e contratos, pois muitos processos de auditoria e certificação exigem registros completos e atualizados para garantir a conformidade normativa (Brasil, 2024).

Em conclusão, o cumprimento das NRs em pequenas empresas é limitado não apenas pela fiscalização insuficiente, mas também pela dificuldade desses empreendimentos em equilibrar os custos de adequação com a manutenção da lucratividade. No entanto com as constantes atualizações das NRs fica explícito o quanto as políticas públicas estão evoluindo para uma promoção de saúde e segurança no ambiente de trabalho. Dessa forma cabe ao empregador se atualizar e buscar novas maneiras de se adaptar de acordo com a realidade do seu negócio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou analisar os desafios enfrentados pelas pequenas empresas na implementação de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e a necessidade de uma cultura de segurança eficaz. A partir da revisão das Normas Regulamentadoras e da legislação vigente, ficou evidente que, apesar dos avanços na legislação trabalhista, a prática ainda apresenta lacunas significativas, especialmente em pequenas empresas.

Os dados analisados demonstram que, embora a maioria das empresas reconheça a importância dos EPIs, muitos trabalhadores ainda não os utilizam adequadamente, e as ações de conscientização e treinamento são insuficientes. A falta de fiscalização e o descompasso entre a teoria e a prática agravam a situação, aumentando os riscos de acidentes e doenças ocupacionais.

Para melhorar a segurança no ambiente de trabalho, é fundamental que os empregadores adotem uma abordagem proativa, promovendo a capacitação dos colaboradores e estabelecendo políticas internas que priorizem a saúde e segurança. Ademais, a criação de incentivos financeiros e a ampliação das políticas públicas destinadas a apoiar pequenas empresas na aquisição de EPIs são essenciais para garantir condições dignas de trabalho.

Por fim, este estudo enfatizou a necessidade de um monitoramento contínuo e da revisão das práticas de segurança no trabalho, além de sugerir que futuras pesquisas explorem

a relação entre a eficácia das políticas públicas e a real implementação das Normas Regulamentadoras nas pequenas empresas. Somente com uma abordagem integrada será possível alcançar um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para todos os trabalhadores.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, D. D. A responsabilidade da empresa para além do contexto de saúde e segurança no meio ambiente de trabalho. **Revista arquivos científicos** (immes), v. 3, n. 2, p. 46-51, 2020.
- BALKHYOUR, M. A.; AHMAD, I.; REHAN, M. Assessment of personal protective equipment use and occupational exposures in small industries in Jeddah: health implications for workers. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 653-659, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.06.011>.
- BARROS, B. A. *et al.* Absenteísmo entre os profissionais de saúde durante a pandemia de COVID-19: uma revisão integrativa. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1-8, 19 jun. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30694>.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Norma Regulamentadora nº 01: Disposições Gerais. Brasília, 2019.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Norma Regulamentadora NR-06 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-06-atualizada-2022-1.pdf>.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Portaria MTE nº 1.369, de 14 de agosto de 2024. Estabelece diretrizes para o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Brasília, 2024.
- BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR). Brasília, 2021.
- CAMISASSA, M. Q. **História da Segurança e Saúde no Trabalho no Brasil e no mundo**. 2019.
- CAMISASSA, M. Q. **Segurança e saúde no trabalho: NRs 1 a 36 comentadas e descomplicadas**. Rios de Janeiro: Forense, 2015.
- CHMURZYNSKI, G. **Pequenas empresas mostram insatisfação com condições financeiras há 10 anos, 2024**. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/pequenas-empresas/pequenas-industrias-mostram-insatisfacao-com-condicoes-financeiras-ha-10-anos/>.

- CISZ, C. R. **Conscientização do uso de EPI'S, quanto à segurança pessoal e coletiva.** Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015, 44 p.
- COHEN, J.; RODGERS, Y. M. Contributing factors to personal protective equipment shortages during the COVID-19 pandemic. **Preventive Medicine**, [S.L.], v. 141, n. 10, p. 106263, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106263>.
- DE ALMEIDA, Y. L.; DE SOUZA, Y. M. S.; FERREIRA, V. R. O direito à desconexão: uma análise dos impactos do teletrabalho na saúde do trabalhador. **Revista Jurídica do Cesupa**, v. 3, n. 1, p. 79-97, 2022.
- DUTRA, A. M. M. *et al.* **Manual de Recomendações sobre Equipamentos de Proteção Individual EPI para servidores.** São Paulo: UNILAB, 2024.
- FREITAS, R. **As dificuldades enfrentadas pelo micro e pequeno empreendedor do comércio varejista no período da pandemia de COVID-19.** 2023. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2023.
- ISRAEL, I. A. da S. **Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) em uma área Correicional do Ministério da Saúde: a Corregedoria-Geral.** 2023.
- KHOSHAKHLAGH, A.H., *et al.* Assessing personal protective equipment usage and its correlation with knowledge, attitudes, performance, and safety culture among workers in small and medium-sized enterprises. **BMC Public Health**, v. 24, n. 1987, 2024. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19517-3>
- LAMATTINA; R. R.; MORAIS, R. C. R. **Segurança e saúde no trabalho.** Formiga (MG): Editora MultiAtual, 2024. 164.
- LEITE, J. L. C. **A história dos EPIs**, 2022. Disponível em: <https://www.balaska.com.br/post/a-hist%C3%B3ria-dos-epis>.
- MAAS, L.; GRILLO, L. P.; SANDRI, J. V. A saúde e a segurança do trabalhador sob competência de normas regulamentadoras frágeis. **Revista Brasileira de Tecnologias Sociais**, v. 5, n. 1, p. 22-32, 2018.
- MARQUES, J. **Como trabalhar a conscientização do uso de EPI com os colaboradores?** 2019. Disponível em: <https://blog.volkdobrasil.com.br/como-trabalhar-a-conscientizacao-do-uso-de-epi-com-os-colaborad>.
- OBSERVATÓRIO DE SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO. **Promoção do ambiente do trabalho guiada por dados**, 2023. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acesso em 12 de nov. 2024.

PANTALEÃO, S. R. **EPI - Equipamento de proteção individual**: não basta fornecer, é preciso fiscalizar. 2023. Disponível em: <https://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/epi.htm>.

SANTOS, E. L. S. dos *et al.* **O uso de EPIs por autônomos da construção civil na região de Ribeirão Preto**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso Técnico em Administração) - ETEC José Martimiano da Silva, Ribeirão Preto, 2022.

SEBRAE. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Análise da crise e impactos para os pequenos negócios**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/ES/Sebrae%20de%20A%20a%20Z/RELAT%C3%93RIO%20IMPACTO%20COVID%20-%20CORRETO.pdf>.

SILVA, G. H. M.; OLIVEIRA, D. J. C. de; BOVÉRIO, M. A. Custo x benefício do uso dos epis e epcs na área da soldagem. **Sitefa - Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho**, [S.L.], v. 3, n. 12, p. 115-127, 28 dez. 2020. Fatec Sertãozinho. <http://dx.doi.org/10.33635/sitefa.v3i1.135>.

SILVA, H. L. S. S. *et al.* Custo dos equipamentos de proteção individuais (EPIs) com o advento da pandemia. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [S. l.], v. 2, n. 10, p. e210855, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i10.855. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/855>.

SOUZA, F. S. de *et al.* Desafios de aplicação das normas de saúde e segurança no ambiente de trabalho. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 685-700, 4 dez. 2023. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. <http://dx.doi.org/10.51891/rease.v9i11.12521>.

TRUBETSKOV, A. D. *et al.* Problems of using personal protective equipment in modern conditions. **Russian Journal Of Occupational Health And Industrial Ecology**, [S.L.], v. 63, n. 5, p. 336-343, 5 maio 2023. FSBI Research Institute of Occupational Health RAMS. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-336-343>.

VIEIRA, L. **O setor de EPIs no Brasil e no mundo**, 2021. Disponível em: <https://www.tecnicoouro.com.br/post/o-setor-de-epis-no-brasil-e-no-mundo>.

VIVA MUNDO. **Tipos de EPIs**: Quais são e onde são usados, 2024. Disponível em: <https://www.mundolinhaviva.com.br/blog/tipos-de-epis-quais-sao-e-onde-sao-usados/>.

CAPÍTULO V

A INFLUÊNCIA DA EXPERIÊNCIA DE COMPRA NO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR NO MERCADO PETS

THE INFLUENCE OF PURCHASING EXPERIENCE ON CONSUMER BEHAVIOR IN PETS MARKET

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-5

Ellen Railane Araujo da Silva ¹
Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²
Gilberto de Araújo Costa ³
Francisco Canindé Dias Alves ⁴

¹ Graduanda de Administração – UNIFSA. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Mestre em Administração – UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁴ Doutorando em Engenharia da Produção – UNIP e Mestre em Administração – UFPB. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA e da Universidade Estadual do Piauí – UESPI.

RESUMO

O mercado de animais de estimação no Brasil tem vivenciado um crescimento significativo, impulsionado pelo aumento no número de famílias que adotam pets e pela percepção crescente de que esses animais são parte integral da família. Essa "humanização" dos pets se manifesta na forma como os consumidores investem em produtos e serviços que promovem o bem-estar e a qualidade de vida de seus animais. Em 2024, o setor deve gerar bilhões em vendas, destacando a importância de entender o comportamento do consumidor em pet shops, onde a experiência de compra é crucial. Este estudo investiga como fatores como a ambientação da loja, a interação com funcionários e a presença de animais influenciam as decisões de compra. Metodologicamente, a pesquisa é qualitativa e exploratória, utilizando entrevistas semiestruturadas e observações não participantes para capturar as percepções dos clientes e gerentes. A análise de conteúdo permitirá identificar padrões e temas que contribuam para a otimização das operações nas petshops, promovendo maior satisfação e fidelização dos consumidores. Assim, o estudo oferece insights valiosos para o aprimoramento do atendimento ao cliente e do bem-estar dos animais de estimação, refletindo a crescente valorização do mercado pet no Brasil.

Palavras-chave: Mercado pet. Experiência de compra. Comportamento do consumidor.

ABSTRACT

The pet market in Brazil has experienced significant growth, driven by the increase in the number of families adopting pets and the growing perception that these animals are an integral part of the family. This "humanization" of pets is manifested in the way consumers invest in products and services that promote their animals' well-being and quality of life. By 2024, the sector is expected to generate billions in sales, highlighting the importance of understanding consumer behavior in pet stores, where the shopping experience is crucial. This study investigates how factors such as store ambience, interaction with employees and the presence of animals influence purchasing decisions. Methodologically, the research is qualitative and exploratory, using semi-structured interviews and non-participant observations to capture the perceptions of customers and managers. Content analysis will identify patterns and themes that contribute to optimizing operations in pet stores, promoting greater consumer satisfaction and loyalty. Thus, the study offers valuable insights for improving customer service and pet well-being, reflecting the growing appreciation of the pet market in Brazil.

Keywords: Pet market. Purchasing experience. Consumer behavior.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de animais de estimação no Brasil cresceu significativamente nos últimos anos, impulsionado pelo aumento no número de famílias que adotam pets. De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET), o setor deve gerar bilhões de dólares em vendas em 2024, consolidando-se como um dos mais promissores do país. Esse cenário ressalta a importância de entender as dinâmicas que influenciam o comportamento do consumidor em pet shops, especialmente no que se refere à qualidade da experiência de compra que essas lojas proporcionam (Abinpet, 2022).

Entender o comportamento do consumidor é crucial para o sucesso de qualquer negócio, e o setor de produtos para animais de estimação não é uma exceção. A experiência de compra abrange diversos aspectos, desde o ambiente físico da loja até as interações com os funcionários, todos desempenhando um papel significativo na decisão de compra do cliente. O crescimento do mercado pet vai além do aumento nas vendas; ele também reflete uma diversificação nos produtos e serviços disponíveis. Os consumidores estão cada vez mais em busca de itens que transcendem o básico, como rações e acessórios, e estão interessados em produtos premium e personalizados, assim como em serviços especializados que envolvem estética, saúde e bem-estar dos animais (Rosa; Menezes, Silva 2018).

Essa transformação no perfil de consumo reflete a crescente humanização dos animais de estimação, um fenômeno em que os pets são vistos e tratados como membros da família. Essa mudança se manifesta na maneira como os donos se preocupam com a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida de seus animais, buscando produtos e serviços que atendam a essas necessidades. Essa tendência resulta em uma demanda maior por produtos de alta qualidade, como alimentos premium, acessórios personalizados e serviços que promovem a saúde e o conforto dos pets. Em resposta, as pet shops precisam adaptar suas ofertas e abordagens de atendimento para corresponder a essas expectativas, o que requer uma compreensão mais profunda do que os clientes valorizam em suas interações com esses estabelecimentos. (Marichalar, 2006).

A evolução tecnológica e o aumento do comércio eletrônico também influenciam o comportamento do consumidor no setor pet. Plataformas digitais permitem aos consumidores comparar preços, acessar informações detalhadas sobre produtos e fazer compras de forma rápida e conveniente, o que impõe desafios adicionais para as lojas físicas.

No entanto, essas lojas ainda possuem uma vantagem significativa: a possibilidade de oferecer uma experiência de compra mais personalizada e envolvente, algo que o ambiente digital, por mais prático que seja, não consegue replicar por completo (Stefanini; Alves; Marques, 2018).

Ao oferecer um atendimento cuidadoso, ambientes acolhedores e a oportunidade de interagir diretamente com os animais, as pet shops físicas podem estabelecer uma conexão emocional duradoura com os clientes, promovendo sua fidelidade a longo prazo. Portanto, investigar como esses elementos influenciam o comportamento do consumidor pode revelar insights valiosos para aprimorar as estratégias de vendas e o atendimento ao cliente no setor. O objetivo geral deste estudo é analisar como diferentes aspectos da experiência de compra afetam o comportamento dos consumidores em pet shops. Em particular, buscamos entender como as emoções vivenciadas durante a compra influenciam a decisão do cliente e como a interação com os animais — como acariciar um cachorro ou brincar com um gato — enriquece essa experiência, criando um ambiente que não só promove a compra, mas também fortalece o vínculo emocional com a loja e os produtos oferecidos (Diaz, 2023).

A investigação sobre o comportamento do consumidor em pet shops e a influência da experiência de compra é fundamentada em diversas teorias provenientes dos campos do marketing e da psicologia do consumidor. Modelos que analisam a "atmosfera de loja" e a experiência do consumidor indicam que fatores ambientais, como iluminação, layout e música, além de elementos sociais, como a interação com os funcionários e outros clientes, exercem uma influência significativa nas decisões de compra. Este estudo visa contribuir para a literatura existente ao aplicar essas teorias ao contexto específico do mercado de produtos para animais de estimação, que ainda é pouco explorado academicamente. Ao fazer isso, buscamos oferecer uma compreensão mais detalhada dos mecanismos que orientam o comportamento de compra nesse segmento, ajudando a preencher uma lacuna no conhecimento atual e fornecendo diretrizes práticas para os profissionais do setor (Kotler, 2021).

Na prática, este estudo oferece insights valiosos para gestores e proprietários de pet shops que buscam otimizar suas operações e aumentar a satisfação do cliente. Ao analisar como a ambientação, o layout da loja e a interação com os funcionários afetam as decisões de compra, o trabalho fornece recomendações concretas sobre como melhorar a experiência de compra. Essas estratégias podem resultar em uma maior retenção de clientes, aumento

das vendas e criação de um ambiente mais acolhedor tanto para os pets quanto para seus donos (Osterwalde; Pigneur 2011).

Socialmente, o estudo oferece benefícios ao considerar o bem-estar dos animais de estimação e a profunda conexão emocional que seus donos mantêm com eles. Pet shops que proporcionam uma experiência de compra mais agradável e humanizada não apenas melhoram a satisfação do cliente, mas também podem impactar diretamente a qualidade dos cuidados oferecidos aos animais. Um ambiente de compra acolhedor e informativo encoraja os tutores a investirem em produtos que promovem a saúde e o bem-estar dos pets, como alimentos de qualidade, brinquedos estimulantes e serviços de higiene e saúde. Além disso, à medida que o setor pet cresce, ele fortalece os laços afetivos entre os animais e seus tutores, resultando em uma melhoria geral na qualidade de vida, tanto dos animais quanto de seus donos, que se sentem mais satisfeitos e confiantes em suas escolhas (Manucci, 2005).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR

O comportamento do consumidor é uma área amplamente estudada, com diversas teorias que explicam como e por que as pessoas tomam decisões de compra. Os fatores como o ambiente de loja, as emoções do consumidor e as interações sociais desempenham papéis essenciais na formação de atitudes em relação a produtos e serviços. No contexto de pet shops, esses elementos podem ser ainda mais significativos, dado o vínculo emocional que os consumidores têm com seus animais de estimação (Rodrigues; Maral; Amaral; Santos 2017).

O comportamento do consumidor no setor de produtos para animais de estimação é moldado por uma combinação de fatores emocionais, funcionais e sociais. Cada vez mais, os donos consideram seus pets como parte da família, o que tem um impacto direto nas suas escolhas de compra. Essa percepção leva os consumidores a priorizar o conforto, a saúde e a felicidade de seus animais, resultando em investimentos em produtos de alta qualidade, como rações premium, brinquedos inovadores e serviços especializados. A forte conexão emocional que os donos sentem em relação a seus pets influencia não apenas o tipo de produtos que escolhem, mas também a quantidade que decidem adquirir, refletindo um compromisso com o bem-estar dos animais (Lara, 2021).

Além disso, a experiência de compra tem um papel decisivo no comportamento dos consumidores de pet shops. Aspectos como layout, organização e a atmosfera geral do

estabelecimento influenciam a forma como os clientes percebem a marca e seu nível de engajamento. A ambientação das lojas, com espaços bem definidos para produtos, áreas de convivência com animais e um atendimento personalizado, pode aumentar a satisfação do cliente e promover a recorrência de compras. A interação com os funcionários também é fundamental, já que consumidores valorizam orientações e recomendações de especialistas para cuidar melhor dos seus pets, o que pode reforçar a confiança na loja e elevar o ticket médio de compra (Cohen, 2002).

Os consumidores são influenciados por uma variedade de fatores ao tomarem decisões de compra, como aspectos culturais, sociais, psicológicos e ligados à sua personalidade. No mercado de produtos para animais de estimação, o comportamento dos consumidores é particularmente afetado pela percepção de valor agregado aos produtos e serviços. Muitas vezes, o que os donos escolhem para seus pets reflete os próprios padrões de consumo. Por exemplo, se um proprietário dá grande importância a uma alimentação saudável, ele tenderá a seguir essa lógica ao escolher produtos alimentares para o seu animal de estimação, demonstrando como o processo de decisão do dono se estende à compra de itens para o pet (Schiffman; Kanuk 2009).

A lealdade dos consumidores a lojas de produtos para animais é fortemente influenciada por fatores como conveniência, personalização e inovação. Os consumidores tendem a se fidelizar a pet shops que oferecem uma experiência de compra que atenda às suas necessidades e preferências, como serviços diferenciados, pacotes de cuidados para pets, refeições personalizadas e promoções exclusivas para clientes frequentes. Esses elementos não apenas facilitam o processo de compra, mas também criam uma conexão emocional com a marca. Assim, a experiência de compra envolvente e adaptada ao perfil do cliente é essencial para cultivar a lealdade do consumidor e impulsionar o crescimento do setor de produtos para animais no Brasil (Ridgway, 2007).

2.2. EXPERIÊNCIA DE COMPRA

A experiência de compra é composta por diversos elementos que, juntos, influenciam a percepção do consumidor em relação à loja e aos seus produtos. O conceito de "atmosfera de loja" abrange aspectos como iluminação, música, aromas e a disposição do espaço físico, que colaboram para criar um ambiente que eleva a satisfação do cliente e, conseqüentemente, incentiva a decisão de compra. Em pet shops, onde os consumidores não

apenas buscam produtos, mas também desejam desfrutar de um ambiente acolhedor e convidativo, esses fatores tornam-se ainda mais relevantes. A presença de animais no espaço de vendas transforma a experiência em algo emocionalmente significativo, elevando-a além de uma mera transação comercial e criando memórias positivas que podem fidelizar os clientes. (Calixta; Afonso, Locatelli, 2022).

Ao ver os animais, os clientes costumam sentir um maior apego emocional, o que pode gerar uma experiência de compra mais agradável e interativa. Isso também cria uma sensação de empatia e responsabilidade pelos pets, motivando os consumidores a se dedicarem mais ao processo de escolha dos produtos, especialmente aqueles destinados ao bem-estar dos animais. A presença física dos animais na loja também convida os clientes a explorar mais o ambiente, o que contribui para um envolvimento mais profundo com a marca e seus produtos pensados nas necessidades dos pets, desde rações veterinárias como: hipoalérgica, renal, diabética, obesidade entre outras, como também produtos para a pelagem e coloração (Camargo, 2013).

Esse conceito está diretamente relacionado à ideia de "atmosfera de loja", que descreve o ambiente físico de um estabelecimento e seu impacto sobre o comportamento dos consumidores, na qual a atmosfera de uma loja inclui elementos como layout, design, sons, aromas e até mesmo a temperatura do ambiente, todos cuidadosamente planejados para influenciar a percepção e as emoções do consumidor; como quando o atendente coloca uma criança para interagir com animal, em exposição em loja, traz uma percepção melhor aos pais na hora de escolher de maneira adequada o pet ideal que conviveria em um ambiente familiar (Vieira, 2023).

No contexto de um pet shop, a atmosfera é enriquecida pela presença de animais, que trazem um elemento de vivacidade e conexão emocional. Essa experiência é complementada por elementos sensoriais, como sons de pássaros e latidos de cachorros, que criam um ambiente sonoro familiar e agradável. Aromas agradáveis, como o cheiro de produtos naturais ou de petiscos frescos, também desempenham um papel importante na criação de uma experiência sensorial positiva. Além disso, um layout bem planejado que favoreça a circulação permite que os clientes explorem a loja com facilidade, tornando a visita mais agradável e convidativa (Marcon; Frizon, Bosa 2020).

Esses fatores combinados não apenas acolhem os consumidores, mas também os engajam emocionalmente, transformando a simples compra de produtos em uma experiência

memorável. A interação com os animais, aliada a um ambiente cuidadosamente projetado, pode aumentar a satisfação do cliente, incentivando-o a passar mais tempo na loja e a se sentir mais conectado à marca. Essa abordagem não só melhora a experiência de compra, mas também pode levar a uma maior lealdade do cliente e à repetição de visitas, fundamentais para o sucesso em longo prazo do pet shop. (Rezende; Marcelino; Miyaji, 2020).

A atmosfera da loja pode impactar o ambiente físico e emocional criado no interior de um estabelecimento, englobando fatores como iluminação, música, aromas, organização dos produtos e decoração. Essa atmosfera desempenha um papel crucial na experiência do cliente, afetando diretamente sua satisfação, a duração de sua permanência no local e a probabilidade de realizar uma compra. Em pet shops, onde os consumidores não estão apenas interessados em adquirir produtos, mas também desejam desfrutar de uma experiência envolvente, é essencial investir em uma atmosfera que evoque emoções positivas e promova um senso de bem-estar (Dalmas, 2019).

Ao desenvolver um ambiente acolhedor e estimulante, esses estabelecimentos conseguem aumentar significativamente o envolvimento dos consumidores, incentivando compras por impulso e favorecendo a fidelização em longo prazo. Essa estratégia transforma cada visita à loja em uma experiência memorável, criando uma conexão mais profunda entre os clientes e a marca, o que os motiva a retornar (Carvalho, 2020).

2.3. MERCADO PET

Nos últimos anos, ter um animal de estimação em casa se tornou uma prática comum para muitas pessoas. Os pets passaram a ocupar um papel central nas famílias, sendo tratados como verdadeiros membros. Essa mudança no modo como os animais são vistos também impulsionou o crescimento do mercado voltado para eles, que oferece cada vez mais opções e comodidades aos donos (Einsfield, 2023).

Anteriormente, produtos para animais de estimação eram encontrados quase exclusivamente em agropecuárias. Com o aumento do número de lares com pets e a crescente demanda por serviços e produtos de qualidade, esses itens passaram a ser amplamente comercializados em diferentes pontos de venda, como pet shops especializados. Além disso, a diversidade de produtos também aumentou, indo muito além de apenas rações e coleiras, para incluir cuidados estéticos, acessórios e até roupas (Paiva; Guerra, 2021).

Hoje, com o avanço da tecnologia e a popularidade do comércio eletrônico, comprar produtos para pets se tornou ainda mais acessível. Supermercados, grandes lojas e plataformas de e-commerce oferecem uma vasta gama de opções para os donos de animais, permitindo que eles adquiram tudo o que precisam sem sair de casa. Esse fácil acesso e a conveniência do mercado online também refletem a valorização e a importância que os pets conquistaram na vida das pessoas (Negri, 2023).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é qualitativa, de natureza aplicada, com objetivo exploratório. A abordagem qualitativa foi escolhida por possibilitar uma compreensão profunda das percepções e comportamentos dos consumidores em pet shops, permitindo a análise de fatores subjetivos que influenciam a experiência de compra. Com o objetivo de explorar novas perspectivas sobre o tema, esta metodologia é adequada para captar nuances e detalhes que não poderiam ser alcançados por meio de técnicas quantitativas (Alexandre, 2021).

O objetivo da pesquisa é de caráter exploratório e busca entender como diferentes elementos da experiência de compra em pet shops – como ambientação, layout e interação com os funcionários – influenciam as escolhas e preferências dos consumidores, impactando seu comportamento de compra e decisão de retorno à loja. O estudo busca gerar novos insights sobre as dinâmicas de consumo no mercado pet.

As perguntas foram realizadas em um formato de entrevista semiestruturada, direcionadas ao gerente da loja e a alguns clientes, com foco na experiência de compra. Esse formato permitirá maior flexibilidade, incentivando os entrevistados a compartilharem abertamente suas percepções e experiências, o que contribuirá para uma compreensão mais profunda no contexto de um estudo exploratório. Também serão realizadas observações sem participação ativa nas lojas, com o objetivo de registrar como os consumidores interagem com o ambiente, os produtos e os funcionários. Essas observações buscarão captar informações que complementem os dados coletados por meio das entrevistas.

A análise dos dados foi conduzida utilizando a técnica de análise de conteúdo, que se mostrou apropriada para interpretar informações qualitativas. Após a coleta dos questionários, as respostas foram organizadas em categorias e codificadas para identificar padrões, temas recorrentes e possíveis divergências nas percepções de gerentes e consumidores sobre os fatores que influenciam a experiência de compra. Essa análise

possibilitou uma compreensão aprofundada das dinâmicas entre o ambiente das lojas e o comportamento dos consumidores, oferecendo subsídios concretos para estratégias de melhoria no setor de produtos para animais de estimação.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A disposição interna e o layout da loja são fundamentais na experiência de compra dos consumidores. Um arranjo lógico e acessível dos produtos facilita a localização dos itens desejados, estimulando a exploração de outros produtos. No contexto de pet shops, uma organização adequada pode não apenas destacar produtos essenciais, mas também otimizar o fluxo de compras, resultando em uma experiência mais eficiente e rentável para o cliente.

A interação com a equipe de funcionários se destaca como um fator essencial para a satisfação dos consumidores. Cerca de 70% dos entrevistados apontaram que o atendimento cordial, combinado com um bom conhecimento técnico sobre os produtos, impactou diretamente sua experiência de compra. Esse dado ressalta a importância de treinamentos que desenvolvam tanto as habilidades de comunicação quanto o conhecimento técnico da equipe. No segmento de produtos para animais, a confiança que os clientes depositam nos colaboradores é fundamental para o sucesso nas vendas, especialmente em relação a itens que influenciam o bem-estar dos pets. Os resultados indicam que um ambiente de compras agradável e funcional, combinado com um atendimento eficaz e acolhedor, não só eleva a satisfação do cliente, mas também pode aumentar o valor médio das vendas, refletindo-se em melhores resultados financeiros para o negócio.

Outro ponto relevante é a criação de um ambiente que seja atraente tanto para os tutores de pets quanto para os próprios animais. Isso envolve a escolha cuidadosa de aspectos como iluminação, ventilação, temperatura e decoração do espaço. Um ambiente que transmite conforto e bem-estar pode incentivar os clientes a passar mais tempo na loja, aumentando as chances de compras adicionais. Assim, ao desenvolver um espaço que seja visualmente atraente e funcional, as pet shops podem transformar o ato de comprar em uma experiência mais agradável e envolvente.

A organização dos produtos, ou layout, também foi identificada como um elemento crítico na pesquisa. Um layout bem projetado facilita a movimentação dos clientes pela loja, permitindo que encontrem rapidamente os itens desejados e sejam expostos a produtos complementares. Uma disposição clara e lógica, como a separação de rações, brinquedos e

acessórios, ajuda a otimizar o tempo dos consumidores, resultando em uma experiência de compra mais satisfatória. Quando os clientes conseguem localizar rapidamente o que precisam, o processo de compra se torna menos estressante e mais prazeroso, aumentando as chances de retorno à loja.

Além disso, um atendimento personalizado, onde os colaboradores demonstram interesse genuíno pelos animais de estimação dos clientes, pode fortalecer a relação entre a loja e os consumidores, promovendo maior lealdade à marca.

Os resultados da pesquisa confirmam que o capital humano é um dos principais ativos no setor de varejo de produtos para animais. A qualidade do atendimento ao cliente, especialmente em situações em que o consumidor busca orientação especializada, como em pet shops, se tornou um diferencial competitivo significativo. Um atendimento eficaz e personalizado contribui para criar uma conexão emocional com os clientes, o que aumenta a fidelidade à marca. Esses achados corroboram estudos recentes que destacam a importância do capital humano no varejo, evidenciando a necessidade de investir em treinamento contínuo para os funcionários.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam que a experiência de compra em pet shops é significativamente moldada por diversos fatores, como a ambientação da loja, o layout dos produtos e a qualidade do atendimento prestado pelos funcionários. Quando esses aspectos são cuidadosamente planejados e implementados, eles exercem um papel essencial no comportamento do consumidor, influenciando diretamente sua satisfação e lealdade à marca. Os dados sugerem que um ambiente agradável e funcional, combinado com um atendimento acolhedor e eficiente, pode não apenas aumentar os níveis de satisfação dos clientes, mas também elevar o ticket médio das vendas, resultando em desempenho financeiro superior para o negócio.

A pesquisa também confirma que a equipe de atendimento continua sendo um dos recursos mais valiosos no setor de varejo de produtos para animais de estimação. A qualidade do serviço prestado, especialmente em situações onde os clientes buscam orientações especializadas, tem se tornado um diferencial competitivo importante. Um atendimento eficaz e personalizado contribui para fortalecer o vínculo emocional com os consumidores, aumentando sua fidelidade à marca. Esses resultados são apoiados por estudos recentes, que

ênfatizam a relevância do investimento no desenvolvimento contínuo das habilidades dos funcionários.

Diante desses resultados, é evidente que os gestores de pet shops devem priorizar investimentos em melhorias estruturais e no aperfeiçoamento de suas equipes. Criar um ambiente acolhedor, funcional e visualmente atraente deve ser uma estratégia central para aumentar a atração e retenção de clientes. Além disso, uma organização eficiente dos produtos, com layouts claros e intuitivos, é fundamental para otimizar a experiência de compra. A implementação de treinamentos regulares e especializados para os colaboradores, focados em atendimento ao cliente e conhecimento dos produtos, é crucial para elevar o padrão do serviço oferecido.

Em resumo, ao adotar essas práticas, as pet shops não apenas poderão aprimorar a satisfação de seus clientes, mas também alcançar melhores resultados financeiros, assegurando uma operação mais sustentável e competitiva no dinâmico mercado de produtos para animais.

REFERÊNCIAS

- ABINPET. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO. Disponível em :<https://abinpet.org.br/dados-de-mercado/>
- ALEXANDRE, A. F. Metodologia científica: princípios e fundamentos. Editora Blucher, 2021.
- BITNER, M. J. Servicescapes: the impact of physical surrounding son customers and employees. J. Mark. 56, 57–71, 1992. doi: 10.1177/ 002224299205600205
- CAMARGO, P. C. J. Neuromarketing: a nova pesquisa de comportamento do consumidor. São Paulo: Atlas, 2013.
- COHEN,S. P. “Can pets function as familymembers?” Western Journal of Nursing Research, 24(6), pp. 621-638, 2002. <https://doi.org/10.1177/019394502320555386>.
- CALIXTA,M ;AFONSO, T; LOCATELLI, RONALDO, L. Segmentação de Mercado, Diferenciação de Produtos e a Perspectiva da Antropologia do Consumo. Revista Gestão & Tecnologia, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 106-122, jun. 2011. ISSN 2177-6652. Disponível em: <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2011.v11i1.276>.
- CARVALHO, D. A. Indústria de pet food cresce 5% no Brasil em 2020. O Petróleo. Disponível em: <https://www.opetroleo.com.br/industria-de-pet-food-cresce-5-no-brasil-em-2020/>.

- DIAZ, G. G. Intenção de compra de produtos ecológicos no mercado pet: um estudo a luz da teoria do comportamento planejado, 2023.
- DALMAS, E. G. O comportamento do consumidor de produtos e serviços do mercado pet quanto aos cuidados com os animais de estimação. 2019. 75f. Monografia (Bacharelado em Administração) – Universidade de Caxias do Sul.
- EINSFIELD, A. O planejamento é estratégico? Análise do processo de administração estratégica em empresas das cidades de Filiz e Vale Real – RS. IFRS, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifrs.edu.br/handle/123456789/683>
- KOTLER, P; KARTAJAYA, H; SETIAWAN, I. Marketing 5.0: Tecnologia para a humanidade. Rio de Janeiro, Sextante, 2021.
- LARA, J. E. Análise Sensorial: um estudo sobre a influência da convergência sensório-perceptual no processo de decisão de compra do consumidor de perfume. Gestão e Sociedade, v. 15, n. 43, 2021.
- MARICHALAR, X. G. EL mercado de laalimentacion y acessórios para marcotas em Brasil. Notas Sectoriales. ICEX. 64P. Ago. 2006.
- MANUCCI, A. Milhões de animais de estimação vivem nos mais diversos lares, 2005.
- MARCON, D. L; FRIZON, J. A; BOSA, L. A. Comportamento do consumidor: análise dos fatores de influência no segmento de animais de estimação. Revista Brasileira de Contabilidade e Gestão, 9(17), 2020.
- NEGRI, J. Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil. IPEA, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3295>
- OLIVEIRA, B. (ORG.) Gestão de marketing. São Paulo: Pearson, 2012. 437 p. Revista NP. República dos pets inova em oferecer certidão de família aos animais. Dezembro 2017. <https://revistanegociospet.com.br/noticiaseventos/republica-dospets-inovaem-oferecer-certidao-de-familia-aos-animais/>
- OSTERWALDER, A.; PIGNEUER, Y. Business Model Generation: Inovação em modelos de negócios. Rio de Janeiro. Editora Alta Books, 2011. ISBN: 978-65-552-0460-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555204605/>.
- PAIVA, M. V; GUERRA, M. G. G. V. Análise SWOT como ferramenta estratégica no processo avaliativo do curso de administração pública do IFPB. Ed 19. Santa Maria: Regae: Rev. Gest Aval. Educ, 2021.
- PETERS, L.; CARLSON, M. Retail employee engagement and its influence on store performance: An analysis in the pet products sector. Retail Management Review, v. 21, n. 2, p. 180-198, 2023.

- RIDGWAY, N; KUKAR-KINNEY, M; MONROE, K; CHAMBERLIN, E. Overspending on Pets: the Relationship With Excessive Buying. 8, 216–219, 2007.
<http://www.acrwebsite.org/volumes/13865/eacr/vol8/E08><http://www.copyright.com/>
- REZENDE, A; MARCELINO, A; MIYAJI, M. A reinvenção das vendas: as estratégias das empresas brasileiras para gerar receitas na pandemia de covid-19. Boletim de conjuntura (boca), v. 2, n. 6, p. 53-69, 2020.
- RODRIGUES, G.F.; MARAL, N.O.; AMARAL, L.G.M.; SANTOS, L.F.; DIAS, M.L.; SILVA, T.O.; SILVA, H.M.F.; GOMIDE, A.P.C. Desempenho e qualidade de carcaça de suínos machos castrados, fêmeas e machos imunocastrados de diferentes potenciais genéticos. Colloquium Agrariae, v.13, n.3, p.107-114. 2017.
- ROSA, A.N.; MENEZES, G.R.O.; SILVA, L.O.C. Melhoramento genético aplicado em gado de corte. 1ª ed., Programa Geneplus: EMBRAPA, 2018. 257p. SILVA M.M.M.; .
- SCHIFFMAN, LEON G., KANUK, LESLIE, L. Comportamento do consumidor, Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.
- STEFANINI, C; ALVES ,A; MARQUES, B. Vamos almoçar? Um estudo da relação hospitalidade, qualidade em serviços e marketing de experiência na satisfação dos clientes de restaurantes. Revista Brasileira de Pesquisa Em Turismo, 12(1), 57, 2018.
<https://doi.org/10.7784/rbtur.v12i1.1372>
- VIEIRA, J. C. A. A percepção do consumidor sobre a influência dos fatores da atmosfera em loja na sua experiência de compra no retalho alimentar (Dissertação de mestrado), 2023.

CAPÍTULO VI

INFLUÊNCIA DA LIDERANÇA NO CLIMA ORGANIZACIONAL EM UMA EMPRESA AUTOMOTIVA

INFLUENCE OF LEADERSHIP ON THE ORGANIZATIONAL CLIMATE IN AN AUTOMOTIVE COMPANY

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-6

Jackeline Macedo Sousa Silva ¹
Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²
Francisco Canindé Dias Alves ³
Gilberto de Araújo Costa ⁴

¹ Graduanda de Administração – UNIFSA. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Mestre em Administração – UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Doutorando em Engenharia da Produção – UNIP e Mestre em Administração – UFPB. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA e da Universidade Estadual do Piauí – UESPI.

⁴ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

O artigo “Influência da Liderança no Clima Organizacional em uma Empresa Automotiva” explora como a liderança impacta o ambiente de trabalho em uma empresa do setor automotivo. Destaca-se que o estilo de liderança é essencial para promover um clima organizacional positivo, o que, por sua vez, afeta diretamente a motivação, produtividade e retenção de talentos. O estudo foi realizado na empresa de nome fictício “Motores de Teresina” e revela que a comunicação eficaz, a satisfação no trabalho e o desenvolvimento dos colaboradores são fundamentais para um ambiente corporativo saudável. A pesquisa também aponta que líderes que investem em treinamento e desenvolvimento criam um clima organizacional mais colaborativo e inovador, fortalecendo a resiliência da empresa diante dos desafios do setor automotivo.

Palavra-chave: Clima organizacional. Liderança. Motivação. Produtividade. Comunicação interna.

ABSTRACT

The article “Influence of Leadership on the Organizational Climate in an Automotive Company” explores how leadership impacts the work environment in a company in the automotive sector. It should be noted that leadership style is essential for promoting a positive organizational climate, which, in turn, directly affects motivation, productivity and talent retention. The study was carried out at the fictitious company “Motores de Teresina” and reveals that effective communication, job satisfaction and employee development are fundamental to a healthy corporate environment. The research also points out that leaders who invest in training and development create a more collaborative and innovative organizational climate, strengthening the company's resilience. facing the challenges of the automotive sector.

Keyword: Organizational climate. Leadership. Motivation. Productivity. Internal communication.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na sociedade em que vivemos é cada vez mais essencial o papel da liderança no contexto do clima organizacional, sendo fundamental para criação de condições favoráveis que proporcionem o bem-estar no ambiente de trabalho e tragam o que as pessoas buscam da empresa: “um bom local de trabalho, reconhecimento e recompensas, oportunidades de crescimento, apoio e suporte”. A construção desse ambiente está diretamente ligada em como a liderança atua nesse cenário, nos mostrando o quanto são importantes as estratégias de gestão nesse ambiente (Rodrigues, 2016).

O nível de satisfação dos colaboradores de uma organização, em relação a vários aspectos, é representado pelo conceito de sentimento que os indivíduos compartilham a respeito da organização, e isso influencia de maneira positiva ou negativa na sua motivação e contentamento na atividade exercida. Estudar ou conhecer sobre o clima organizacional se torna indispensável uma vez que a partir desse estudo se perceberá se o ambiente de trabalho favorece ou não o interesse e o rendimento dos contratados da organização (Oza, 2017).

O estilo de gestão que as corporações adotam mostram qual significado que dão a cada um dos seus colaboradores, ou seja, o estilo de gestão pode fazer com que a empresa mantenha uma comunicação mais transparente com os seus liderados tendo resultados desejados em profundidade, desempenho e qualidade ou pode até levar à falência (Rocha, 2021).

Uma liderança no clima organizacional de uma empresa automotiva, por exemplo, pode criar um ambiente de trabalho positivo promovendo o bem-estar de seus colaboradores que seja motivador e colaborativo, isso acaba gerando uma maior produtividade dos seus funcionários e satisfação no trabalho. De outra forma um líder inadequado pode resultar num clima desfavorável, desmotivador, afetando o rendimento dos seus colaboradores tornando o ambiente improdutivo e gerando conflitos entre suas equipes. Dessa forma, objetiva-se com esse trabalho explorar a liderança no clima organizacional em uma empresa automotiva.

Além disso, o presente tema se justifica de como o comportamento do líder e seu estilo de gestão e interação com os seus liderados têm impacto nos resultados de uma empresa automotiva, como um bom clima organizacional não deve ser confundido com acomodação, mas sim com envolvimento e comprometimento mútuo, conforme Resende (2012).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CLIMA ORGANIZACIONAL

O sucesso de qualquer organização passa a depender de como os seus administradores vêm investindo em práticas e estratégias gerenciais capazes de potencializar e valorizar o desempenho de todas as suas equipes. É necessário ter estratégias que possam facilitar e melhorar a comunicação entre os membros, por isso o clima organizacional é um aliado indispensável para a gestão, por influenciar tanto diretamente como indiretamente no serviço, promovendo consequências na produtividade e principalmente na motivação das pessoas. Saber conhecer uma relação conflituosa com o trabalhador pode encontrar o seu ponto de equilíbrio para crescimento humano (Hees; Pimentel, 2021; Sousa, 2014).

Clima organizacional é a diferenciação que as organizações necessitam para valorizar e gerarem maior satisfação nas práticas de gestão aberta e transparentes com comprometimento dos seus colaboradores, influenciando as pessoas a saber promover um clima recíproco à produtividade e à qualidade do trabalho. As instituições precisam aceitar que os indivíduos são beneficiados com comportamentos diferentes, precisam ouvir mais sobre as ideias dos colaboradores, realizar reuniões periódicas e avaliar o clima para medir os níveis de satisfação com relação ao trabalho, desse modo vir a obter resultados satisfatórios (Vasconcelos, 2023).

Uma das grandes características significativas em um ambiente de trabalho é o seu clima organizacional, que é definido por muitos pesquisadores e estudiosos como capaz de influenciar fortemente as ações de desempenho nas realizações de tarefas, assim é favorável quando proporciona diferentes espécies de motivação. O clima ideal é aquele em que o colaborador tenha tanto orgulho da empresa onde trabalha como sente do trabalho que faz nela, sendo positivo quando enfatiza a inovação, a flexibilidade, valorização, desempenho de qualidade, envolvimento e liderança (Patricio, 2015).

2.2. COMUNICAÇÃO INTERNA EFICAZ

É um pilar essencial para a influência da liderança no clima organizacional de uma empresa automotiva. Líderes devem adotar estratégias claras e abrangentes para disseminar informações relevantes a todos os níveis da organização. A transparência nas comunicações contribui para a construção de confiança, permitindo que os colaboradores compreendam a visão, objetivos e desafios da empresa. A liderança desempenha um papel crucial como

catalisadora na disseminação de mensagens coerentes. Líderes que comunicam de maneira inspiradora, compartilhando sucessos e reconhecendo desafios, estabelecem um tom positivo e motivador (Ferreira *et al.*, 2020).

A escolha de canais de comunicação apropriados também é vital. Líderes precisam adotar uma abordagem multifacetada, utilizando não apenas e-mails e reuniões, mas também ferramentas digitais e redes sociais internas. Isso facilita a disseminação eficiente de informações, especialmente em uma indústria dinâmica como a automotiva, onde a agilidade na comunicação é essencial para enfrentar desafios e oportunidades. A retroalimentação constante é uma prática crucial na comunicação interna. Líderes devem estar abertos a ouvir as preocupações e sugestões dos colaboradores, promovendo um diálogo bidirecional (Morais, 2021).

A comunicação interna eficaz desempenha um papel crucial em momentos de mudanças organizacionais, tão comuns na indústria automotiva devido a avanços tecnológicos e tendências de mercado. A liderança deve comunicar claramente os motivos por trás das mudanças, os benefícios esperados e como a transição afetará os colaboradores. A gestão transparente de mudanças minimiza a resistência e promove uma cultura organizacional adaptável (Veiga, 2019).

Na indústria automotiva, onde a inovação e a agilidade são essenciais, a comunicação interna é uma ferramenta estratégica nas mãos da liderança. Ao cultivar uma cultura de comunicação aberta, transparente e inspiradora, os líderes não apenas moldam o clima organizacional, mas também fortalecem a resiliência da empresa em face dos desafios do setor automotivo em constante evolução. Plataformas digitais, como intranets interativas e aplicativos corporativos, podem facilitar a disseminação rápida de informações, promovendo a colaboração e o engajamento entre os membros da equipe, independentemente da localização física (Ferreira, 2022).

2.3. SATISFAÇÃO NO TRABALHO E VARIÁVEIS QUE AFETAM O CLIMA ORGANIZACIONAL

A satisfação no trabalho é definida como um julgamento positivo ou negativo que um indivíduo dispõe sobre o trabalho ou determinada situação de trabalho. Também pode se compreender que a satisfação no trabalho seria uma tendência psicológica que é expressa pela avaliação afetiva e/ou cognitiva de um trabalho com um grau de favorabilidade ou desfavorabilidade (Hees; Pimentel, 2021; Valle, 2007).

Para a satisfação no trabalho é uma variável de atitude que mostra como as pessoas se sentem em relação ao trabalho, em que de forma simples, quando as pessoas estão satisfeitas, gostam do trabalho; e quando estão insatisfeitas, não gostam do trabalho. O autor trata o assunto satisfação abordando duas situações (Spector, 2006 apud Valle, 2007).

A abordagem global em que considera a satisfação no trabalho como um sentimento único (indivíduo) e global (meio em que trabalha) em relação ao trabalho; e a abordagem de facetas em que considera os aspectos diferentes de um trabalho, como prêmios (benefícios, salário, oportunidade de promoção ou vantagens), as outras pessoas no trabalho (liderança ou colegas), condições no trabalho, comunicação, segurança e a natureza do trabalho em si (Robbins; Judge; Sobral, 2010).

Em relação à satisfação no trabalho, segundo Robbins (2005, p. 21), “são fatores importantes as tarefas mentalmente desafiadoras, recompensas justas, condições de trabalho estimulantes e colegas colaboradores”. Tratando-se de remuneração e políticas de promoções, Robbins (2005, p. 21) destaca que “devem ser justos e sem ambiguidades e devem atender às expectativas, pois estão entre os objetivos mais importantes dos trabalhadores”. Afirma, ainda, que a satisfação deve surgir como consequência natural, quando a remuneração parece justa.

Além da remuneração, outro fator importante destacado por Robbins (2005, p. 21), é “o ambiente de trabalho para se obter o conforto pessoal e para a facilitação de um bom trabalho”. Segundo Robbins, Judge e Sobral (2010), a preferência dos trabalhadores com relação ao ambiente físico está relacionada ao fato de este ser seguro, confortável, limpo e que não permita muita distração.

Robbins (2005, p. 21) complementa:

As pessoas recebem do trabalho mais que dinheiro ou resultados materiais. Para muitos trabalhadores, constitui-se em oportunidade de satisfazer as necessidades de interação social. Não é surpreendente, portanto, que colegas amigáveis e colaboradores sejam causa de satisfação no trabalho.

Bruxel e Junqueira (2011, p.129) afirmam que o trabalho pode ser satisfatório para o colaborador quando “este tem a oportunidade de testar suas capacidades, estimulando suas necessidades de crescimento pessoal e seu senso de responsabilidade”. Os autores acima citam três aspectos geradores de satisfação no ambiente de trabalho: a presença de desafios,

a autonomia na administração das atividades e os mecanismos de feedback sobre o desempenho.

Robbins (2005, p. 61) complementa que a satisfação no trabalho é “[...] uma variável de atitude que mostra como as pessoas se sentem em relação ao trabalho”. Ele também afirma que: “uma pessoa que tem um alto nível de satisfação com seu trabalho apresenta atitudes positivas em relação a ele, enquanto uma pessoa insatisfeita apresenta atitudes negativas”.

A satisfação no trabalho e o clima organizacional são afetados por diversos acontecimentos internos e algumas vezes externos à organização. Por vezes, estes aspectos podem ser controlados pela empresa, que pode modificá-los ou melhorá-los visando a aumentar a satisfação dos seus funcionários. O clima é mais perceptível do que suas fontes causais, sendo comparável a um perfume, percebendo-se o efeito, sem conhecer os ingredientes, embora algumas vezes seja possível identificar alguns deles (Souza, 2018).

Na visão de Luz (2003, p.25), existe uma série de variáveis que indicam o grau de satisfação e afetam diretamente no resultado do clima organizacional. Dentre elas, o autor destaca algumas que são apresentadas abaixo:

- Variável: Ações que afetam a pesquisa de Clima Organizacional;
- Adaptação dos Trabalhadores: Trabalhos realizados, horário de trabalho, distribuição dos trabalhos entre os trabalhadores, trabalhos desafiadores, quadro de pessoal em cada setor, equilíbrio entre o trabalho e a vida pessoal;
- Salário: A percepção dos trabalhadores quanto à compatibilização dos salários da empresa com os praticados no mercado e a possibilidade de obtenção de aumentos salariais;
- Benefícios: Revelam a qualidade da prestação desses serviços e o quanto os benefícios atendem às necessidades e às expectativas dos trabalhadores;
- Supervisão ou liderança ou gestão: Indica a capacidade técnica, humana e administrativa dos gestores, revela a satisfação dos colaboradores com os seus gestores e o grau de feedback dado por eles à equipe;
- Treinamento: Evidencia as oportunidades que os trabalhadores têm de se qualificar e se desenvolver profissionalmente;
- Estabilidade no emprego: Procura conhecer o grau de segurança que os colaboradores sentem em seus empregos, assim como o feedback que recebem sobre como eles estão indo no trabalho;
- Processo decisório: Indica a opinião dos colaboradores sobre a qualidade do processo decisório, sobre o quanto a empresa é ágil, participativa, centralizada ou descentralizada em suas decisões;
- Condições físicas de trabalho: Evidenciam a qualidade e o conforto das condições físicas, das instalações, dos recursos colocados à disposição dos trabalhadores para a realização dos trabalhos: posto de trabalho, horário de trabalho, vestiário, local de trabalho e os recursos disponíveis para o trabalho;
- Participação: Indica as diferentes formas de participação dos colaboradores no cotidiano da empresa, seu grau de conhecimento e envolvimento com

os assuntos relevantes da empresa, a participação financeira que os funcionários têm nos resultados da empresa, a participação deles na gestão;

- Trabalho em equipe: Evidencia o quanto a empresa estimula e valoriza o trabalho em equipe para solucionar problemas, para buscar oportunidades, para aprimorar processos e inovar.

A partir disso, pode-se compreender, também, que os problemas internos à empresa ou mesmo fatores externos ligados à vida particular de cada trabalhador influenciam no clima organizacional dentro da empresa. As preocupações, tensões, fatos comoventes, têm impacto, mas durante muito tempo; porém, os acontecimentos de dentro da organização afetam com maior intensidade o clima organizacional.

3. METODOLOGIA

A metodologia selecionada para o desenvolvimento deste trabalho foi a pesquisa bibliográfica e documental, por meio de abordagem qualitativa. A pesquisa realizada em listas de obras consultadas é desenvolvida baseada em materiais já produzidos, executados, especialmente de artigos científicos, livros e sites confiáveis com base de dados, manuais, entre outros.

Além disso, realizou-se uma entrevista semiestruturada utilizando um roteiro antecipadamente bem elaborado. Objetivou-se nesse trabalho realizar um roteiro que apure adaptação dos objetivos pretendidos, para isso foi realizado um questionário baseado em uma formulação de perguntas básicas, que possibilitou atingir os objetivos da pesquisa, identificar a estrutura e suas consequências.

A população desta pesquisa corresponde aos colaboradores que trabalham em uma empresa automotiva, a amostra foi composta por funcionários que ocupavam funções diferentes dentro da instituição. Para melhor compreensão foi realizada uma pesquisa que contemple o nível de desmotivação dos cobradores, falta de reconhecimento, incentivos financeiros, comunicação, clima organizacional, comportamento, desempenho e produtividade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta de dados para a pesquisa documental aconteceu na empresa automobilística Motores de Teresina, nome não-real dado para preservar a identidade da instituição, por meio de questionário com 5 perguntas objetivas e 2 perguntas abertas, com 1 funcionário de cada setor da empresa, totalizando um número de 3 entrevistados. Sendo que cada pergunta tinha

uma escala de 0 a 5 pontos, sendo 0 a menor nota e 5 a maior nota. O compilado das respostas é apresentado no quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Resultados da pesquisa

Perguntas da entrevista	Funcionário da equipe de limpeza e vigilância	Funcionário do setor administrativo	Funcionário do setor de vendas
Se pudesse estabelecer o seu contentamento com a empresa automobilística motores de Teresina com uma nota de 0 a 5, qual seria? a)0 b)1 c)2 d)3 e)4 f)5	F	E	E
Se pudesse estabelecer a sua relação com o superior da empresa automobilística motores de Teresina com uma nota de 0 a 5, qual seria? a)0 b)1 c)2 d)3 e)4 f)5	F	F	E
Se pudesse estabelecer com uma nota de 0 a 5, o apoio da empresa na vida dos funcionários e suas famílias qual seria? a)0 b)1 c)2 d)3 e)4 f)5	E	E	E
Se pudesse estabelecer a sua satisfação com a flexibilização de horários com a empresa Motores de Teresina com uma nota de 0 a 5, qual seria? a)0 b)1 c)2 d)3 e)4 f)5	F	F	F
Se pudesse estabelecer uma nota de 0 a 5 sobre a relação interpessoal na equipe de trabalho da empresa Motores de Teresina, qual seria? a)0 b)1 c)2 d)3 e)4 f)5	D	E	E

Perguntas da entrevista	Funcionário da equipe de limpeza e vigilância	Funcionário do setor administrativo	Funcionário do setor de vendas
Qual a sua satisfação com o plano de carreira da empresa automobilística Motores de Teresina?	“É uma boa empresa para se trabalhar, pagam todos os direitos, mas seria melhor ainda se pagassem algo a mais pelo empenho ou tempo de casa”	“Me sinto satisfeita e porque sei que surgindo novas oportunidades de cargos eu também posso crescer”	“A empresa está crescendo e com isso nós crescemos também, então a possibilidade de aumento dos ganhos com as vendas e comissões também é boa”
Qual é a sua satisfação com o empenho e a motivação exercida pelo seu superior?	“Muito boa, o senhor X (omissão do nome do superior foi omitida pela pesquisadora) sempre conversa muito e busca compreender a gente.”	“Boa, ele sempre é muito solícito em ajudar a gente sempre que necessário.”	“Boa, a cobrança para se atingir as metas é necessário, além disso ele busca muito engajar e dialogar com a equipe de venda.”

Fonte: Autoria Própria (2024)

4.1. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Avaliando as respostas dos entrevistados e buscando a compreensão do tema “a influência da liderança no clima organizacional” é possível afirmar que líderes eficazes desempenham um papel fundamental nesse processo, pois sua capacidade de inspirar, motivar e reconhecer talentos impacta diretamente no clima organizacional. Ao identificar talentos, líderes devem compreender as habilidades e potenciais individuais, alinhando-os aos objetivos estratégicos da empresa.

A influência da liderança se estende à criação de um ambiente de trabalho positivo e engajador. Líderes que promovem uma cultura de inovação, respeito e desenvolvimento pessoal contribuem significativamente para um clima organizacional saudável. Ao reconhecer e valorizar o potencial dos colaboradores, a liderança fortalece os laços entre a equipe e a empresa, favorecendo a retenção de talentos (Vieira; De Azevedo, 2021).

A implementação de programas de desenvolvimento e treinamento também é vital. Líderes devem investir na capacitação contínua dos colaboradores, demonstrando o compromisso da empresa com o crescimento profissional. Essas práticas não apenas aprimoram as habilidades da equipe, mas também fortalecem a fidelidade dos talentos à

organização automotiva, contribuindo positivamente para o sucesso em longo prazo. Na gestão de talentos em uma empresa automotiva, a identificação de profissionais qualificados começa com uma análise criteriosa das habilidades técnicas e comportamentais necessárias para atender às demandas específicas do setor (Azeredo, 2019).

Líderes precisam adotar abordagens proativas, como programas de recrutamento estratégico e parcerias educacionais, para atrair talentos alinhados com a visão e valores da empresa. A retenção de talentos, por sua vez, envolve a criação de um ambiente onde os colaboradores se sintam valorizados e desafiados. Líderes devem promover uma cultura que incentive a inovação, reconhecendo e recompensando o desempenho excepcional. Estratégias de desenvolvimento de carreira, mentorias e feedback construtivo são ferramentas essenciais para manter os profissionais engajados e comprometidos (Andrade, 2019).

A liderança desempenha um papel crucial na formação do clima organizacional. Líderes inspiradores estabelecem padrões elevados de integridade e ética, modelando o comportamento esperado em todos os níveis da organização. A transparência nas comunicações e a capacidade de adaptação às mudanças do setor automotivo também são características essenciais para influenciar positivamente o ambiente de trabalho. Ao investir na identificação e retenção de talentos, líderes de empresas automotivas contribuem não apenas para o crescimento individual de seus colaboradores, mas também para a sustentabilidade e competitividade em longo prazo da organização no dinâmico mercado automotivo (Mendes; Podolan; Soczek, 2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de buscar informações da pesquisa de clima organizacional realizada na empresa Motores de Teresina, extraíram-se os dados oriundos das respostas dos trabalhadores naquele momento e trabalhou-se realizando comparativos entre eles. Nesse contexto, Luz (2003) define clima organizacional como o ambiente resultante das percepções que os funcionários têm dos diferentes aspectos que influenciam seu bem-estar e sua satisfação no dia a dia do trabalho.

Nesse sentido, foi possível identificar que existe um interesse real dos representantes da empresa na busca constante por melhorias a partir da pesquisa de clima organizacional. A

partir de tal constatação, conclui-se que a gestão espera que a pesquisa de clima organizacional trouxesse todas as respostas do que está bom e do que precisa ser melhorado.

Portanto, para futuros trabalhos, pode-se indicar o acompanhamento na pesquisa de clima organizacional a ser realizada, com a introdução de questões abertas, buscando assim mais qualidade nas respostas, contribuindo para o complemento deste estudo, visto que da forma como vem sendo realizadasem um maior aprofundamento nas causas de satisfação ou insatisfação, não se torna uma ferramenta de gestão em prol da qualidade de vida dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA OLIVEIRA, Erica Caroline; SANTOS, Dayvid Souza. **A contribuição da liderança para o clima organizacional.** (Tradução) Leadership contribution to the organizational climate.

AMANTE, Lúcia; OLIVEIRA, Isolina. **Avaliação e feedback: desafios atuais.** 2019.

ANDRADE, Bruno Lemes. **Retenção de talentos e o papel da gestão de pessoas.**

ANJOS, Rodolpho Augusto Garcia dos. **Liderança e satisfação dos funcionários em uma pequena empresa: um estudo de caso.** 2010.

AZEREDO, Fabiana Capella. Treinamento e desenvolvimento como instrumento de retenção de talentos nas organizações. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 10, n. 1, p. 14-30, 2019.

BRUZEL, A.; JUNQUEIRA, A. G.W. Gestão de pessoas: satisfação dos profissionais de uma organização do ramo de telecomunicações. **Revista Destaques Acadêmicos**, ano 3, n 1, 2011. Cgo/Univates

CALEGARI, Fiamá. **A influência da liderança no clima organizacional da Empresa Simonetto Alimentos LTDA.** 2019.

DA SILVA, Valéria Sousa. **Avaliação de desempenho: implicações para os colaboradores- Estudo exploratório numa empresa do setor alimentar.** 2019.

FERREIRA, Gabriela França et al. **Projeto de reestruturação da comunicação interna da distribuidora Mix Farma.** 2020.

FERREIRA, Marta Sofia Carvalho. **A comunicação interna em organizações virtuais: o caso da ONGD Mundo A Sorrir.** 2022. Tese de Doutorado.

GASPAR, Bianca Ferreira et al. **A importância da liderança e motivação nas organizações.** 2021.

- HEES, Luciane Weber Baia; PIMENTEL, Magnun Roberto. Gestão escolar: estilos de liderança e os reflexos no clima organizacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 47810-47819, 2021.
- LUZ, R. **Gestão do clima organizacional**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- MORAIS, André Moreira. **A influência da comunicação interna na motivação dos colaboradores**. 2021. Tese de Doutorado.
- OZA, Jaqueline Vieira. **A influência do clima organizacional na produtividade das empresas de peças automotivas em Iconha - ES**. 2017.
- PATRICIO, Gustavo Paladini. **Análise do clima organizacional em uma empresa comercial fornecedora de suprimentos a indústrias moveleiras do sul do estado de Santa Catarina**. 2015.
- PIAZENTINI, Luiz Henrique et al. **Exploração de fatores relacionados a processos de aprendizagem autorregulada em contexto de desenvolvimento profissional**. 2022.
- PODOLAN, Karime; DE PAULA MENDES, Orlei; DE LARA SOCZEK, Kelly. **Processos de gestão de pessoas rumo à retenção de talentos**. Trabalhos de Conclusão de Curso-Faculdade Sant'Ana, 2021.
- RESENDE, Ana Cecilea Coelho Pompeo de Campos. **A influência da liderança no clima organizacional**. 2012.
- ROBBINS, Stephen P. **Comportamento organizacional**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. xxi, 536 p. ISBN 978-85-7605-002-5.
- ROBBINS, Stephen P.; JUDGE, Tim; SOBRAL, Filipe. **Comportamento organizacional: teoria e prática no contexto brasileiro**. São Paulo: Pearson, 2010. xxvi, 633 p. ISBN 978-85-7605-569-3.
- ROCHA, Maria Izabel Batista et al. A influência da liderança no clima organizacional de uma empresa de defensivos agrícolas. (Tradução) The influence of leadership in the organizational climate of a company of agricultural defensives. **Revista Visão: Gestão Organizacional**, p. 137-157, 2021.
- RODRIGUES, Marcelo Sotero. **Liderança e clima organizacional: um estudo em uma concessionária de veículos em Brasília**.
- SOUSA, João Paulo Bandeira de. **Clima organizacional**. 2014.
- VALLE, Ângela da Rocha. **Monitoramento da satisfação no trabalho em uma empresa financeira**. (Tese de Doutorado). Bartolomeu Tôrres Tróccoli (Orientador). Uiversidade de Brasília. Brasília, 2007.

VASCONCELOS, Thaiza. **Análise do clima organizacional no terceiro setor: estudo aplicado em uma fundação de apoio.** 2023.

VAZ, Alessandra Cunha de Oliveira. **Estilos de liderança: um estudo em um órgão interno do Banco do Brasil.** 2011.

VEIGA, Inês. **A comunicação interna como uma função estratégica das organizações: proposta de um guia de boas práticas em comunicação interna.** 2019. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Lisboa, Escola Superior de Comunicação Social.

VIEIRA, Silvia Cristina Heredia; DE AZEVEDO, Francisco Weverton Oliveira; DO TRABALHO, Categoria. **A retenção de talentos e seus benefícios,** 2021.

CAPÍTULO VII

A INFLUÊNCIA DO LÍDER NA MOTIVAÇÃO E NO DESEMPENHO DA EQUIPE EM UMA EMPRESA DE POSTO DE GASOLINA

THE INFLUENCE OF THE LEADER ON TEAM MOTIVATION AND PERFORMANCE IN A GAS STATION COMPANY

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-7

Jamily Alves Mesquita ¹

Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²

Raimundo Nonato Moura Rodrigues ³

Antonio Gomes Sales Filho ⁴

¹ Graduanda do curso de Administração. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Mestre em Administração – UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Doutor em Engenharia da Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁴ Mestre em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

O artigo tem por objetivo descrever como a liderança e motivação em uma empresa contribui para um melhor ambiente de trabalho. Dentro desse contexto, este trabalho propõe-se apresentar a metodologia da pesquisa bibliográfica na área administrativa, enfatizando uma pesquisa qualitativa descritiva por meio de um questionário que será entregue aos liderados. Dessa forma, espera-se que o líder analise os pontos positivos e negativos presentes no questionário e implemente as modificações necessárias.

Palavras-chave: Administração. Liderança. Motivação.

ABSTRACT

The article aims to describe how leadership and motivation in a company contribute to a better work environment. Within this context, this work proposes to present the methodology of bibliographic research in the administrative area, emphasizing a descriptive qualitative research through a questionnaire that will be given to the subordinates. In this way, it is expected that the leader analyzes the positive and negative points present in the questionnaire and implements the necessary modifications.

Keywords: Administration; Leadership; Motivation.

1. INTRODUÇÃO

A Gestão de Pessoas (GP) é representada por pessoas e pelas organizações e sem essas duas partes a GP não existiria nem seus campos de estudo. Essa área busca analisar como a organização é composta, sua estrutura, diretrizes internas e externas, como seus procedimentos são aplicados às pessoas na realização de suas tarefas e, principalmente, como é conduzida a gestão dentro dessas organizações (Chiavenato, 2014; Ribeiro; Ferreira, 2023).

Para que estas organizações tenham um bom rendimento é necessário que elas saibam escolher seus líderes. Dado que o mundo, e conseqüentemente, as organizações estão em constante mudança, então um líder é aquele que é capaz de se adaptar a essas transformações. Por essa razão as empresas buscam líderes que saibam desenvolver suas funções e que contribuam para o sucesso e desempenho das organizações, pois a forma que ele irá guiar sua equipe irá contribuir para o sucesso ou fracasso da organização (Vicentini et al., 2018).

Nesse contexto, a motivação dos colaboradores dentro da organização é imprescindível para o sucesso dessas, levando em consideração que um ambiente onde as pessoas trabalham motivadas irá ter maior produtividade e bom clima organizacional. Por outro lado, um ambiente de trabalho em que os colaboradores trabalham desmotivada a produtividade é baixo, além de grandes números de absenteísmo decorrentes de doenças ou insatisfação e problemas de saúde (Gramms; Lotz, 2017; Ribeiro; Bezerra-de-Sousa, 2024).

Desse modo, formula-se o seguinte problema de pesquisa: qual a influência do líder na motivação e no desempenho da equipe em uma empresa de posto de gasolina? O objetivo deste estudo é analisar os diferentes tipos de liderança e como elas impactam na motivação e desempenho dos colaboradores em um posto de gasolina.

Atualmente a GP tem a função de acompanhar o comportamento humano dentro das organizações, com o intuito de buscar bons resultados para a organização e potencializar sua produtividade. Com a globalização, o mercado está em constante mudança e, com isso, é indispensável à boa seleção, recrutamento e treinamento dos funcionários para atender as exigências das organizações (Miranda, 2009).

A satisfação no trabalho visa o bem-estar do colaborador dentro das organizações, promover clima organizacional mais estável e boa saúde física e psicológica, logo, trabalhadores em boas condições de trabalho aumentarão sua produtividade. O clima

organizacional está ligado a visão que os colaboradores têm do ambiente em que trabalham, sendo ele positivo ou negativo (Chiavenato, 2010; Oliveira, 2012).

A comodidade no trabalho tem a finalidade de promover o bem-estar do trabalhador, evitando insatisfação e estresse que possam comprometer seu rendimento na empresa. Desta forma, o funcionário desmotivado do seu trabalho pode levar a insatisfação e até mesmo outros problemas de saúde, como a depressão e ansiedade que irá influenciar tanto sua vida pessoal quanto a vida profissional (Carvalho, 2016).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As organizações vêm sofrendo rápidas mudanças em seu ambiente interno. Essas mudanças vão desde a contratação de pessoas até o desenvolvimento desses profissionais. Devido essas mudanças, o processo de gestão torna-se cada vez mais desafiador, onde as pessoas passam a exigir a valorização do seu capital humano e com isso, a empresa busca aprimorar seus métodos de capacitação, usando desse meio como uma vantagem competitiva (Carvalho; Nascimento; Serafim, 2015).

As empresas passam a investir cada vez mais em desenvolvimento e capacitação dos colaboradores, pois eles são necessários para o sucesso da organização. Quanto mais as pessoas forem capacitadas para sua função na empresa mais chances de a empresa ter um bom desempenho, pois os colaboradores serão treinados para lidar com as adversidades de seu trabalho. Para isso, as organizações passam a investir na Gestão de Pessoas, alinhando os objetivos dessas pessoas com os objetivos da empresa (Silva et.al., 2016).

O primeiro passo que as empresas devem ter com seus colaboradores é a Educação, onde irá capacitar o indivíduo para o cargo que irá executar, além de promover habilidades pessoais que irão contribuir para a qualidade de seu trabalho. Um colaborador bem instruído tem mais chances de sucesso em seu trabalho, assim a empresa tem mais chances de atingir seus objetivos organizacionais (Rego, 2018).

A Gestão de Pessoas tem a função de capacitar o indivíduo e extrair dele suas qualidades. Logo, uma pessoa que possui uma boa relação interpessoal é mais propícia a ser um bom funcionário. Quanto mais as empresas investirem em seus funcionários, mais chances de serem recompensadas com sucesso organizacional (Chiavenato, 2014).

A Gestão de Pessoas ainda é vista como uma atividade restrita ao setor de recursos humanos. Ela é importante em todas as áreas de uma empresa, onde o gestor irá explorar as

habilidades de cada funcionário. Todas estas habilidades expressam a importância na valorização do capital humano, possibilitando não somente o desenvolvimento de suas potencialidades, mas também da superação dos seus limites, sejam eles pessoais ou no ambiente de trabalho (Ribeiro; Ferreira, 2023; Serra, 2010).

2.1. IMPORTÂNCIA DA QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

Segundo Ferretti (2004, p.87), qualificar é atribuir um título, uma qualidade, pode ser também as condições indicativas a uma formação profissional e a busca por conhecimento, sugeridas para o exercício do cargo, tudo que um líder precisa.

Qualificar é focar na preparação para uma determinada área, ou seja, buscar conhecimento sobre determinados assuntos os quais não se domina, ou mesmo para o seu aperfeiçoamento. No que concerne à qualificação e o aperfeiçoamento profissional Chiavenato (2002, p. 496), afirma que:

Aperfeiçoamento profissional é a educação que visa ampliar, desenvolver e aperfeiçoar o homem para seu crescimento profissional em determinada carreira na empresa ou para que se torne mais eficiente e produtivo no seu cargo. Ele afirma que um homem quando inicia sua jornada em busca da qualificação, é como se fosse um diamante sendo lapidado.

A relação entre educação e desenvolvimento está presente nos variados discursos de órgãos nacionais e internacionais, pontua Kober (2004, p.09) “[...] uma das soluções mais eficientes para reduzir o desemprego é o resgate da qualidade, a democratização do acesso ao ensino básico, médio, técnico, profissionalizante e de terceiro grau”. O profissional deve procurar entender, aprender e reproduzir todo o processo, não só as etapas, pois as mudanças no mercado de trabalho requerem novas competências.

Assim, é notável que a educação e o trabalho estejam intimamente ligados com a profissão do administrador, pois se vivencia a era da globalização e modernidade no qual as informações estão ligadas ao dia a dia das empresas e de seus profissionais, que estão constantemente atualizando-se e adaptando-se as necessidades e as novas tendências do mercado.

Para Kober (2004) a definição de qualificação profissional é condizente com a preparação de um cidadão, por meio de uma formação profissional. Dessa forma ele aprimorará suas habilidades no que diz respeito à execução de atividades exigidas pelo mercado de trabalho. Ainda segundo o autor o profissional deve estar preparado para desempenhar suas funções sem margem de erro, pois estes representam prejuízo.

A falta de qualificação profissional do colaborador brasileiro é presente, pois ainda não existe uma procura significativa para um melhor aprimoramento de suas profissões. É preciso uma conscientização na classe trabalhadora sobre a qualificação e seus benefícios, mostrando que a forma mais rápida e fácil de crescer profissionalmente é através da mesma e de sua prática.

Nesse trecho, Ribeiro (2005, p.17) explica a importância da educação continuada: “diplomas não são mais chaves mágicas que abrem todas as portas, mas educação continuada sendo uma ferramenta tremendamente eficaz para ajudar o ser humano a desenvolver a sua inteligência e o seu potencial”.

Empatia, poder decisório, versatilidade, dinamismo, capacidade de liderança dentre outras características de um bom profissional são requisitadas tão quanto um diploma. As empresas não estão procurando diplomas e sim profissionais completos. Segundo Lacerda (2010) o objetivo de qualquer profissional é buscar a maior melhoria possível na área que atua sem deixar de buscar conhecimentos diversos em várias áreas.

Afirma-se que o profissional deve sempre estar atento e buscar manter-se atualizado sobre as novidades do setor em que trabalha, como também deve ter conhecimento de outras áreas para que em alguns momentos ele possa atuar e opinar sobre elas.

2.2. MOTIVAÇÃO

A motivação é um dos pilares mais importantes dentro de uma organização. É importante que o líder saiba motivar seus colaboradores para que esses cumpram suas metas pessoais, além de contribuir para o sucesso da organização. Logo uma empresa que tem funcionários motivados tem mais chances de sucesso, pois essas pessoas irão ter satisfação pessoal e conseqüentemente a empresa também terá bons resultados (Chiavenato, 2004; Ribeiro; Bezerra-de-Sousa, 2024).

O indivíduo motivado é aquele que cumpre suas tarefas, persegue com seus objetivos e transforma suas ideias em ação. A motivação no trabalho deve fazer parte da estratégia organizacional para estimular os colaboradores a crescerem profissionalmente e realizarem suas funções com eficácia. Assim, é necessário que as empresas entendam que cada pessoa tem sua motivação pessoal e reconhecê-las é primordial para o sucesso da organização, visto que ao trabalhar motivado a produtividade irá aumentar e terá menos conflitos organizacionais (Chiavenato, 2014).

É necessário que o gestor busque formas de motivar seus colaboradores, conhecendo suas particularidades e as ampliando nas estratégias da organização. Um colaborador se sente motivado quando tem participação na tomada de decisão da empresa, saber que suas ideias são usadas para melhorar a eficiência da organização faz com que a sua produtividade aumente e esteja sempre buscando melhorar como pessoa e como funcionário (Kamia, 2014).

As pessoas possuem alguns fatores que irão contribuir para a motivação no trabalho, como: reconhecimento, valorização, remuneração e condições de trabalho agradáveis. Então, para uma pessoa ter motivação é necessário que suas exigências internas estejam alinhadas com o que a organização ofereça, assim, as elas irão trabalhar em prol de um objetivo, sabendo que seu esforço será reconhecido pelos gestores e organização (Maximiano, 2014).

As empresas devem reconhecer que os funcionários são indispensáveis para o sucesso da organização. Elas devem buscar formas de motivar seus colaboradores alinhando seus objetivos como pessoas aos seus objetivos profissionais em busca de um bom clima organizacional. A empresa oferecendo ferramentas que motivem seus funcionários tem como consequência maior produtividade e preserva a saúde física e mental de seus colaboradores (Ribeiro; Bezerra-de-Sousa, 2024; Sampaio, 1999).

2.3. LIDERANÇA

A liderança é a forma de influenciar os demais, seja por meio de suas atitudes, forma de pensar ou agir, assim irá alcançar os objetivos estabelecidos e se moldar de acordo com as necessidades do ambiente. É importante que o líder saiba se adaptar as mudanças da organização e fazer com que seus liderados também assumam essa característica (Behnke, 2014).

Um líder tem a função de compreender e guiar sua equipe para atingir um bom desempenho na organização. Ele deve conhecer sua equipe e a individualidades de cada um, levando em consideração que cada pessoa tem sua forma de agir e pensar. Além de um bom líder ele também deve ser um bom motivador para guiar sua equipe em prol de um objetivo em comum (AARONS et al., 2016).

A conduta do líder influencia na conduta dos liderados, para isso ele deve ser carismático e ter boas condutas, já que é visto como um exemplo a ser seguido. Nenhum estilo de liderança deve ser descartado, logo o líder deve conhecer sua equipe e aplicar a liderança

que tem semelhança com sua equipe. Assim, não só os objetivos organizacionais serão supridos, como também os objetivos pessoais da equipe (Botelho; Krom, 2010).

Um líder autêntico é aquele que não usa do seu poder dentro da organização para apenas dizer o que sua equipe deve fazer. É importante que ele construa amizade e tenha a confiança dos demais, fazendo com que ele se torne um exemplo e satisfaça as necessidades básicas de seus colaboradores, mas sempre visando como topo alcançar os objetivos organizacionais (Maxwell, 2007).

Um líder transformacional é aquele que motiva seus colaboradores a serem proativos. Existem quatro componentes que medem esse tipo de liderança, primeiro o carisma idealizado que são ações que despertam o respeito e admiração dos colaboradores com o líder, segundo a motivação inspiracional que o líder entusiasma sua equipe com otimismo para atingir os objetivos, terceiro a estimulação intelectual que o líder faz com que sua equipe tenha uma mente inovadora e busque melhores formas de produzir e por último a consideração individualizada em que o líder conhece as particularidades de cada funcionário e tenha uma interação com eles (Rosinha, 2009).

3. METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado nesse estudo compreende uma pesquisa qualitativa. Embora haja a aplicação de questionário, o foco é no processo e nas suas relações de causa e efeito. Não há uma importância de dados numéricos, quantidade, mas, sim, há um foco nas ações, comportamento de um grupo, organização (Silveira; Córdova, 2009).

A pesquisa se caracterizou como descritiva. A liderança foi analisada com base na visão dos liderados, onde eles citaram as habilidades, competências de seus gestores e seus pontos negativos, e foi estabelecido métodos de melhoria da liderança dentro das organizações (Marconi; Lakatos, 2010).

A seguinte pesquisa se caracterizou como um estudo de caso, tendo em vista que analisou o desempenho de uma empresa de posto de gasolina e a influência que a liderança irá exercer na motivação e no desempenho dos colaboradores, sendo ela positiva ou negativa. Uma liderança eficaz se dá por meio da união de fatores externos e internos que se relacionam entre si e ajustando os pontos de melhoria para a alavancagem da organização (Fayol, 1989).

A seguinte pesquisa teve como população os colaboradores de um posto de gasolina situado na cidade de Teresina. A amostra da pesquisa será o gerente da empresa, um

funcionário do turno dia do plantão X, um funcionário do turno dia de plantão Y, um funcionário do turno da noite do plantão X e um funcionário do turno da noite do plantão Y, levando em consideração que os colaboradores não trabalham juntos para que não haja combinação de respostas e sim para que seja levado em foco suas próprias respostas pessoais.

O procedimento de coleta de dados na pesquisa qualitativa e descritiva foi realizado através de um questionário que irá conter um roteiro de entrevista estruturado. Esse tipo de roteiro de entrevista teve perguntas definidas previamente, que foram abordadas para todos os entrevistados de maneira prática e otimizando o tempo entre as perguntas e respostas. Os assuntos abordados no questionário foram sobre liderança, função, estrutura organizacional, clima organizacional, estimas, necessidades fisiológicas e segurança.

Os dados da pesquisa foram interpretativos, identificando os pontos positivos e negativos que foram abordados pelos colaboradores e visando transformá-los em pontos de melhoria para a organização. Dessa forma, a análise de conteúdo permitiu a compreensão, a utilização e aplicação de um determinado conteúdo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

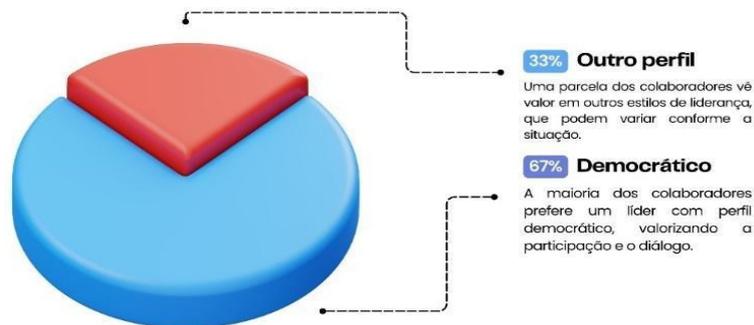
Os indivíduos nem sempre possuem um ambiente de trabalho confortável para exercer suas funções com êxito. Com isso, é importante que os líderes busquem oferecer aos seus colaboradores uma estrutura de trabalho que promova o bem estar e qualidade. O líder deve prestar um bom clima organizacional para que os liderados sintam prazer em realizar suas tarefas da melhor forma, assim a empresa também terá bons resultados ao promover essa ação. Com base neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal discutir a influência do líder na motivação e no desempenho da equipe em uma empresa de posto de gasolina na cidade de Teresina.

Conforme o objetivo foi apresentado a pesquisa em si, com foco a identificar a influência do líder na motivação dos seus colaboradores, a partir dos resultados da aplicação dos questionários com os sujeitos.

A primeira pergunta apresenta o perfil de um bom líder. Nesta questão, os funcionários tinham duas opções de respostas sobre o assunto. A primeira opção é uma liderança democrática e a segunda opção uma liderança autocrática, conforme pode ser visto na figura 1 a seguir:

Figura 1. Perfil de um bom líder

PERFIL DE UM BOM LÍDER



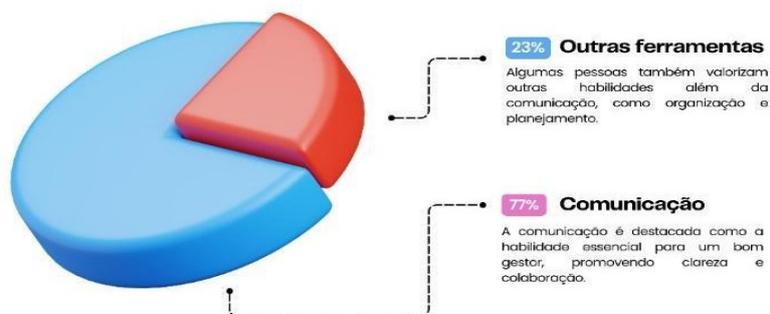
Fonte: Dados da pesquisa

Diante da análise das respostas obtidas nos questionários ficou claro que 67% dos colaboradores responderam que, atualmente um bom líder seria o que possui um perfil democrático e apenas 33% responderam que o ideal seria uma liderança autocrática.

A segunda pergunta com relação a principal ferramenta para um bom gestor, onde seriam apresentados três exemplos de competência: comunicação, planejamento e organização, conforme pode ser visto na figura 2 a seguir:

Figura 2. Principal ferramenta para um bom gestor

PRINCIPAL FERRAMENTA PARA UM BOM GESTOR

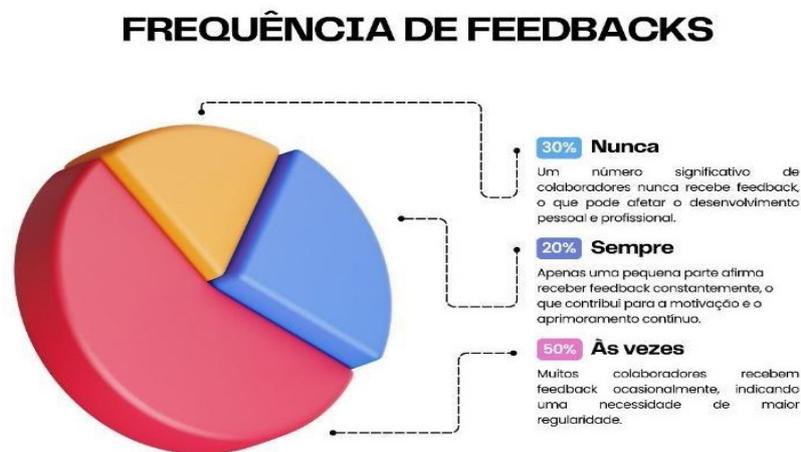


Fonte: Dados da pesquisa

Segundo as respostas obtidas: à comunicação foi escolhida por 77% dos entrevistados, que acredita que é essencial o líder deve se comunicar melhor com sua equipe, buscando soluções para os problemas e conflitos encontrados, dialogando entre os colaboradores. Assim, o líder tem a função de estimular e promover o diálogo, buscando sempre a expansão da empresa e melhorias nos processos.

Na pergunta três quando se perguntou sobre relação à frequência que os entrevistados recebem o feedback de seu líder. Foi dado três opções de respostas: às vezes, sempre e nunca, conforme pode ser visto na figura 3 a seguir:

Figura 3. Frequência de feedbacks



Fonte: Dados da pesquisa

Percebe-se que um dos pontos negativos que foram identificados durante a pesquisa é ausência de feedback, 50% dos entrevistados que responderam ao questionário relataram que às vezes ocorre o feedback, 20% sempre recebem esse feedback e em torno de 30% que nunca recebem esse feedback.

Diante disso, destaca-se que receber esses feedbacks de forma receptiva ajudam os colaboradores a terem uma visão mais concreta de onde estão acertando e onde podem melhorar ainda mais, fazendo mudanças se necessário. Essa avaliação ajuda a reconhecer pontos fortes e pontos passíveis de melhoria, promovendo autoconhecimento, inteligência emocional e motivação.

A próxima questão refere-se ao reconhecimento por parte do gestor, diante disso, percebe-se que a valorização do funcionário tem o percentual ainda maior na visão dos entrevistados: 67% relatam que não são valorizados por seus gestores, considerando uma insatisfação muito alta. A reclamação se dá ao fato de que os entrevistados não são valorizados e que deve propor um tipo de recompensa para aqueles que conseguem se destacar em suas atividades. Esse comportamento por parte de um líder pode trazer reações negativas emocionalmente, desestimulando o funcionário, trazendo uma queda significativa no seu rendimento, conforme pode ser visto na figura 4 a seguir:

Figura 4. Reconhecimento por parte do gestor.



Fonte: Dados da pesquisa

Por fim, perguntou-se se as ações do gestor pode ser um fator de motivação no trabalho de uma equipe. Diante desses dados, entende-se que liderar é influenciar as atividades de um indivíduo ou de um grupo para a consecução de um objetivo numa dada situação. Bartlett; Ghoshal (1997, p.23) diz que “liderar é um processo do líder, do liderado e de variáveis situacionais. O líder é o mentor estratégico para conseguir o sucesso que se espera de um dado setor”. Portanto, conforme a pesquisa acredita-se que as ações do líder podem motivar positivamente ou negativamente sua equipe, conforme pode ser visto na figura 5 a seguir:

Figura 5. Impactos das ações do líder



Fonte: Dados da pesquisa

Diante das perguntas e das respostas avalia-se e conclui-se que uma boa liderança é importante e estabelece um conjunto de forças nas organizações, em nosso caso na união dos

vários setores do posto de combustível. Visando um melhor ambiente organizacional, foi possível observar que as pessoas buscam, atualmente, um trabalho que possa priorizar seu bem estar e empresas que priorizam seus direitos.

As organizações devem elaborar estratégias que aumentam o interesse das pessoas em fazer parte dela, como um plano de benefícios diferente de seus concorrentes, com cursos profissionalizantes, descontos em academias e descontos em faculdades. Atualmente, as pessoas buscam fazer parte de empresas que priorizam a saúde mental e contribuem para o desenvolvimento de seus colaboradores, seja pessoal ou do trabalho.

A qualidade de vida no trabalho é um instrumento essencial para o sucesso organizacional e depende, principalmente, de uma liderança que possa motivar os seus funcionários, alinhando seus objetivos pessoais com os objetivos da empresa. Pode-se interpretar como uma questão que envolve a satisfação do empregado com suas funções e a relação com o ambiente de trabalho, englobando questões físicas, emocionais, psicológicas, segurança e financeiras de um indivíduo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entender e analisar o comportamento nas organizações é importante, sendo que através dele obtêm-se informações essenciais para que ocorra um excelente desempenho tanto do indivíduo como da empresa. Percebeu-se que a análise do comportamento organizacional pode ser feita de várias formas, pois está relacionada com o cotidiano dos indivíduos, nesse caso específico na vida dos funcionários do posto de combustível.

Onde envolve não somente eles, mas também a empresa e o grupo que nela executa suas funções para, assim, ser analisada de forma eficiente e adquirir melhor eficácia. Observou-se, também, que não só o indivíduo, mas do mesmo modo, o grupo, interfere diretamente nas organizações. Pois através dele a empresa tem mais eficiência, acarretando, então, em resultados mais eficazes.

Mas que, para a obtenção de excelentes resultados é necessário que haja uma cumplicidade entre os membros, envolvendo, desta forma, suas condutas, mostrando a grande relevância do líder dentro de uma empresa.

Chegamos a perceber, portanto, que as atitudes dos líderes gestores podem influenciar diretamente nas organizações trazendo benefícios, quando usadas de forma correta; com conduta e ética dos indivíduos nelas presentes. E se usamos de forma eficiente

o conhecimento adquirido sobre o comportamento humano pode-se desenvolver colaboradores altamente motivados e competentes que estarão sempre em busca de melhoria contínua em busca de novas e melhores maneiras de realizarem o trabalho, criando assim vantagem competitiva no mercado globalizado.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, K. C. **Gestão de pessoas: treinamento e desenvolvimento de pessoas em uma empresa supermercadista da cidade de Araguaína – TO**. 2021. n.8. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Tecnologia em Logística – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2021.
- ARRUDA, A. M. F.; CHRISÓSTOMO, E; RIOS, S. S. A importância da liderança nas organizações. **Revista Razão Contábil & Finanças**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2010.
- CARVALHO, V. M. **A importância da Educação Corporativa para a Vantagem Competitiva das Organizações**. Caderno de Administração, Maringá, p.23-29, 2015.
- DIAS, D. S. et al. Perfil da liderança na gestão de projetos: uma pesquisa com profissionais da área. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 8, n. 1, p. 72-89, 2017
- FERREIRA, G. B.; DIAS, C. C. A importância da qualidade de vida no trabalho e da motivação dos colaboradores de uma organização. **Psicologia e Saúde em debate**, v. 3, n. 2, p. 30-43, 2017.
- LOPES, F. J. et al. Liderança nas organizações. **Augusto Guzzo Revista Acadêmica**, v. 1, n. 18, p. 219-228, 2016.
- LORANDO, T. R.; SAPIENZA, R.; COSTA, E. I. C. Qualidade de vida e motivação no trabalho: fator decisivo no desempenho organizacional. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 363-375, 2020.
- MAGALHÃES FILHO, O. V.; COSTA PEREIRA, V. Gestão de pessoas e seu contexto na sociedade contemporânea. **COMUNICAÇÃO & MERCADO**, v. 2, n. 4, p. 115, 2013.
- MATOS, M. Gestão da produtividade nas empresas. **Revista Organização Sistêmica**, v. 1, n. 1, p. 110-119, 2012.
- MENEZES, L.; M. **Como a liderança interfere na motivação dos colaboradores na Empresa ABC Varejo: um estudo de caso**. 2020. n.36. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Administração – Pontifca Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2020.
- MIRANDA, A. S. S.; BARBOSA, F.; K. A motivação no ambiente de trabalho. **UNILUS Ensino e Pesquisa**, v. 13, n. 30, p. 74-81, 2016.

- NASCIMENTO, A. R. et al. A importância do líder nas organizações. **SITEFA**, v. 3, n. 1, p. 235-245, 2020.
- PAVANELLO, L.; JAEGER, E., V. Rotatividade nas empresas: motivos internos e externos. **Revista Brasileira de Contabilidade e Gestão**, v. 4, n. 8, p. 070-074, 2016.
- PENATTI, I.; ZAGO, J., S.; QUELHAS, O. Absenteísmo: as consequências na gestão de pessoas. **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia**, v. 3, n. 16, p. 11, 2006.
- RIBEIRO, R. E. M.; FERREIRA, D. G. de A. **Recrutamento e seleção de pessoas na era digital: o avanço do trabalho no mundo moderno**. Teresina: Editora Lestu, 2023.128p. ISBN: 978-65-85729-03-1. DOI: 10.51205/lestu.978-65-85729-03-1. Disponível em: <https://lestu.org/books/index.php/lestu/catalog/book/16>
- RIBEIRO, R. E. M.; BEZERRA-DE-SOUSA, I. G. **Gestão de pessoas e liderança na prática: cases e estudos para análise e aplicações nas organizações**. / Rhubens Ewald Moura Ribeiro; Indira Gandhi Bezerra de Sousa (Orgs.), v.2. Teresina: Lestu, 2024. 173p. online. pdf. ISBN:ISBN:978-65-85729-08-6. DOI: doi.org/10.51205/lestu.978-65-85729-08-6. Disponível em: <https://lestu.org/books/index.php/lestu/catalog/book/22>
- SANTOS, F. M. **Análise de conteúdo: a visão de Laurence Bardin**, v. 6, n. 1, p. 387, 2012.
- SANTOS, M. D. M.; MOSCON, D. C. B. Modelos de liderança e percepções do trabalhador sobre a organização empregadora: um estudo no TRT-BA. **Revista Foco**, v. 7, n. 1, p. 7-9, 2014.
- SANTOS, T. A. O. **Liderança e motivação: a influência do líder no desempenho da equipe em uma empresa do setor varejista**. 2019. n.55. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Administração – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.
- SILVA, A. G.; ROTERMUND, M. D. L. G. Líder Coach e sua influência na motivação do colaborador. **Revista Metodista de Administração do Sul**, v. 3, n. 4, p. 3-37, 2018.
- SILVA, C. P.; PASCHOALOTTO, M. A. C.; ENDO, G. Y. Liderança organizacional: uma revisão integrativa brasileira. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 14, n. 1, p. 146-159, 2020.
- TODOROV, J. C.; MOREIRA, M. B. O conceito de motivação na psicologia. **Revista Brasileira de Terapia Comportamental e Cognitiva**, v. 7, n. 1, p. 119-132, 2005.

CAPÍTULO VIII

CONTABILIDADE GERENCIAL COMO ESTRATÉGIA NA TOMADA DE DECISÕES EM MICRO E PEQUENAS EMPRESAS

MANAGEMENT ACCOUNTING AS A STRATEGY IN DECISION MAKING IN MICRO AND SMALL COMPANIES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-8

Lucas da Cunha Lins ¹
Edson Nogueira da Silva ²
Fernando Diniz Abreu Silva ³
Jackson Wesley do Nascimento ⁴
Jéssika Figueredo Alves ⁵
Márcio Roberto Bezerra de Carvalho ⁶
Hugo Silva Ferreira ⁷

¹ Mestrando em Sistemas de Gestão – Universidade Federal Fluminense, MBA em Gestão Contábil para Micro e Pequenas Empresas - Faculdade Iguaçu

² Doutorando em Administração – Faculdade Interamericana de Ciências Sociais, Mestre em Propriedade Intelectual e Transferências de Tecnologia para Inovação – Universidade Federal do Amazonas

³ Doutorando em Administração – Faculdade Interamericana de Ciências Sociais, Mestre em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Amazonas

⁴ Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferências de Tecnologia para Inovação – Universidade Federal do Piauí

⁵ Mestra em Ensino - Universidade Federal Fluminense

⁶ Mestrando em Administração – Miami University of Science and Technology (MUST)

⁷ Doutorando em Administração – Faculdade Interamericana de Ciências Sociais, Mestre em Administração – Miami University of Science and Technology (MUST)

RESUMO

A contabilidade gerencial tem ganhado cada vez mais relevância no contexto das micro e pequenas empresas, servindo como uma ferramenta estratégica para a tomada de decisões. Dada a dinâmica de mercado e as limitações de recursos típicas dessas organizações, práticas contábeis como a análise de custo-volume-lucro, a elaboração de orçamentos e o uso de indicadores de desempenho são fundamentais para otimizar a eficiência operacional e garantir a sustentabilidade financeira. No entanto, a implementação dessas práticas enfrenta desafios, como a resistência à mudança e a escassez de recursos financeiros, exigindo que os empresários adotem uma postura proativa e busquem capacitação contínua. Diante disso, este artigo se propõe a analisar como a contabilidade gerencial pode impactar positivamente as decisões tomadas em micro e pequenas empresas mediante uma revisão bibliográfica, são exploradas práticas contábeis gerenciais, como a análise de custo-volume-lucro,

orçamentos e indicadores de desempenho, destacando exemplos específicos de benefícios, como a melhoria da eficiência operacional e financeira. Os achados desta pesquisa revelam que, embora existam obstáculos, como a falta de recursos e resistência à mudança, a adoção da contabilidade gerencial pode trazer benefícios substanciais. As práticas gerenciais auxiliam na otimização de recursos e no planejamento estratégico, resultando em um aumento da competitividade e sustentabilidade a longo prazo e conclui-se que, para que esses benefícios sejam plenamente aproveitados, é necessário que os gestores invistam em treinamento e em tecnologias que facilitem a implementação dessas práticas.

Palavras-chave: Contabilidade Gerencial. Micro e Pequenas Empresas. Tomada de Decisões. Gestão Financeira.

ABSTRACT

Management accounting has gained more and more relevance in the context of micro and small companies, serving as a strategic tool for decision-making. Given the market dynamics and resource limitations typical of these organizations, accounting practices such as cost-volume-profit analysis, budgeting, and the use of performance indicators are key to optimizing operational efficiency and ensuring financial sustainability. However, implementing these practices faces challenges, such as resistance to change and scarcity of financial resources, requiring business owners to take a proactive stance and seek continuous training. In view of this, this article proposes to analyze how management accounting can positively impact the decisions made in micro and small companies through a literature review, management

accounting practices are explored, such as cost-volume-profit analysis, budgets and performance indicators, highlighting specific examples of benefits, such as improved operational and financial efficiency. The findings of this survey reveal that while there are obstacles, such as a lack of resources and resistance to change, the adoption of management accounting can bring substantial benefits. Management practices help in the optimization of resources and strategic planning, resulting in an increase in competitiveness and sustainability in the long term and it is concluded that, in order for these benefits to be fully enjoyed, it is necessary that managers invest in training and technologies that facilitate the implementation of these practices.

Keywords: Management Accounting. Micro and Small Companies. Socket Decisions. Financial management.

1. INTRODUÇÃO

A contabilidade gerencial se destaca como uma ferramenta essencial para a gestão eficaz de micro e pequenas empresas, oferecendo suporte crucial na tomada de decisões estratégicas e operacionais. No cenário econômico atual, caracterizado por alta competitividade e constantes mudanças, essas empresas precisam adotar práticas que garantam a eficiência e a sustentabilidade de seus negócios. A gestão contábil eficiente, portanto, torna-se indispensável para alcançar esses objetivos. Este estudo propõe-se a investigar o papel da contabilidade gerencial na tomada de decisões em micro e pequenas empresas, considerando que essas práticas podem ser decisivas para o sucesso ou fracasso das mesmas. A contabilidade gerencial fornece informações detalhadas e específicas que auxiliam os gestores a planejarem, controlarem e avaliarem suas operações de forma mais precisa e estratégica. A importância desta pesquisa consiste na necessidade urgente das micro e pequenas empresas em aprimorar suas práticas de gestão financeira. Embora a contabilidade gerencial seja amplamente reconhecida e aplicada em grandes corporações, sua adoção por empresas de menor porte ainda enfrenta barreiras significativas. Este trabalho busca entender essas barreiras e propor soluções viáveis para superá-las.

O problema de pesquisa que guia este estudo pode ser formulado da seguinte maneira: "Como a contabilidade gerencial pode ser efetivamente implementada em micro e

pequenas empresas para melhorar a tomada de decisões estratégicas e operacionais?" A investigação deste problema é fundamental para identificar as melhores práticas e os benefícios que podem ser obtidos com a adoção de técnicas contábeis gerenciais.

O objetivo deste trabalho visa discutir os benefícios da contabilidade gerencial na tomada de decisões em micro e pequenas empresas. A hipótese central é que a utilização adequada dessas ferramentas pode proporcionar melhorias significativas na eficiência operacional e financeira dessas empresas. Os gestores, ao dispor de informações detalhadas e relevantes, podem tomar decisões mais embasadas e estratégicas.

Questões como a falta de recursos financeiros, limitações de conhecimento e resistência a mudanças serão exploradas, buscando entender como esses obstáculos podem ser superados. Para a concretização deste objetivo foi utilizada uma metodologia adotada para alcançar esses objetivos é a revisão bibliográfica. Serão analisados artigos científicos, livros e estudos de caso que tratem da aplicação da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas. Espera-se que as conclusões deste estudo contribuam para o desenvolvimento de estratégias que fortaleçam a gestão financeira dessas empresas, promovendo sua competitividade e sustentabilidade no mercado.

Portanto, este trabalho não apenas destaca a importância da contabilidade gerencial para micro e pequenas empresas, como também busca oferecer soluções práticas para a implementação eficaz dessas práticas. Ao entender melhor o papel estratégico da contabilidade gerencial, espera-se que mais empresas possam se beneficiar dessas técnicas, melhorando sua gestão e alcançando melhores resultados financeiros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCEITO E IMPORTÂNCIA DA CONTABILIDADE GERENCIAL

A contabilidade gerencial é definida como o processo de identificação, medição, acumulação, análise, preparação, interpretação e comunicação de informações financeiras utilizadas pela administração para planejar, avaliar e controlar uma organização, bem como assegurar o uso adequado e responsável dos seus recursos (Atkinson et al., 2011). Ao contrário da contabilidade financeira, que se destina a fornecer informações para partes externas como investidores, órgãos reguladores e credores, a contabilidade gerencial é voltada para a gestão interna da empresa, fornecendo dados que auxiliam na tomada de decisões estratégicas e operacionais.

Para micro e pequenas empresas, a contabilidade gerencial é essencial para a sustentabilidade e crescimento. Essas empresas operam frequentemente com margens de lucro reduzidas e recursos limitados, tornando crucial a necessidade de maximizar a eficiência e a eficácia operacional. Silva e Almeida (2019) destacam que a contabilidade gerencial permite que essas empresas obtenham uma visão detalhada de seus custos e receitas, facilitando a identificação de oportunidades de redução de custos, melhoria de processos e aumento da lucratividade. Além disso, proporciona uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas, como investimentos em novos produtos ou mercados, estratégias de precificação e controle de estoques.

A contabilidade gerencial se torna, portanto, uma ferramenta crucial para a sobrevivência e o sucesso de micro e pequenas empresas em um mercado competitivo e dinâmico. Através da análise aprofundada de dados financeiros e operacionais, gestores podem tomar decisões assertivas que impulsionam a competitividade do negócio, otimizando o uso de recursos, aumentando a produtividade e maximizando a rentabilidade.

Em resumo, a contabilidade gerencial é um farol que guia micro e pequenas empresas em direção a um futuro promissor, iluminando o caminho para o crescimento sustentável e a prosperidade a longo prazo.

2.2. FERRAMENTAS DE CONTABILIDADE GERENCIAL

2.2.1. Análise de Custo-Volume-Lucro (CVL)

A análise de custo-volume-lucro (CVL) é uma ferramenta crucial que auxilia os gestores a entenderem como as mudanças nos custos e volumes de produção afetam o lucro da empresa. Essa análise ajuda a determinar o ponto de equilíbrio, ou seja, o volume de vendas necessário para cobrir todos os custos fixos e variáveis, permitindo que a empresa identifique sua margem de segurança – a diferença entre as vendas reais e o ponto de equilíbrio (Drury, 2015). A aplicação da CVL em micro e pequenas empresas é especialmente benéfica, pois permite uma compreensão clara de como variações nos custos ou na produção impactam diretamente a lucratividade.

Por exemplo, uma pequena empresa de manufatura pode usar a análise CVL para determinar o impacto de uma mudança nos custos de matéria-prima sobre seus lucros. Ao calcular o ponto de equilíbrio, a empresa pode ajustar sua produção ou preços para manter a rentabilidade. Essa ferramenta também pode ajudar a empresa a avaliar diferentes cenários

de vendas e custos, auxiliando na tomada de decisões estratégicas mais informadas. Além disso, a análise de custo-volume-lucro oferece uma visão holística das relações entre custos, volume de produção e lucro, permitindo que os gestores identifiquem oportunidades de otimização e melhoria de desempenho. Ao compreender como os custos variam em relação às mudanças no volume de produção ou vendas, as micro e pequenas empresas podem tomar decisões mais precisas em relação a estratégias de precificação, gestão de estoques e alocação de recursos. Isso não apenas contribui para a maximização dos lucros, mas também para o desenvolvimento de uma base sólida para o crescimento sustentável e a resiliência empresarial.

2.2.2. Orçamento

O orçamento é outra ferramenta fundamental na contabilidade gerencial, servindo como um plano financeiro detalhado que projeta receitas e despesas futuras. Horngren, Datar e Rajan (2015) afirmam que um orçamento bem elaborado permite que as empresas planejem e controlem suas finanças de maneira mais eficaz, alinhando os recursos disponíveis com os objetivos estratégicos. Em micro e pequenas empresas, o orçamento pode ajudar a evitar gastos excessivos, identificar necessidades de financiamento e monitorar o desempenho financeiro ao longo do tempo.

A elaboração de um orçamento detalhado envolve a previsão de receitas e despesas em diferentes cenários, permitindo que a empresa estabeleça metas financeiras realistas e identifique possíveis desvios em tempo hábil. Por exemplo, uma pequena empresa de varejo pode usar o orçamento para planejar suas campanhas de marketing e promoções, garantindo que os recursos sejam alocados de maneira eficiente e que as metas de vendas sejam alcançadas. O monitoramento contínuo do orçamento permite ajustes rápidos e a correção de desvios, contribuindo para a saúde financeira da empresa.

Igualmente, o orçamento desempenha um papel crucial na gestão de riscos e na tomada de decisões estratégicas. Ao projetar receitas e despesas futuras, as micro e pequenas empresas podem antecipar cenários adversos e desenvolver planos de contingência para mitigar possíveis impactos negativos. Isso proporciona uma maior segurança financeira e capacidade de resposta a mudanças no ambiente de negócios. Além disso, o processo de elaboração do orçamento envolve a revisão detalhada de todos os aspectos financeiros do

negócio, o que pode revelar oportunidades de redução de custos, melhoria da eficiência operacional e

identificação de novas fontes de receita. Dessa forma, o orçamento não é apenas uma ferramenta de planejamento financeiro, mas também uma ferramenta estratégica que impulsiona a competitividade e o crescimento sustentável das micro e pequenas empresas.

2.2.3. Indicadores de Desempenho

Indicadores de desempenho, ou KPIs (Key Performance Indicators), são métricas utilizadas para avaliar a eficiência e a eficácia das operações empresariais. Kaplan e Norton (1996) sugerem que os KPIs permitem que os gestores acompanhem o progresso em relação aos objetivos estratégicos e tomem decisões informadas para corrigir desvios. Em micro e pequenas empresas, os KPIs podem incluir indicadores financeiros, como retorno sobre o investimento (ROI), margem de lucro e rotatividade de estoques, bem como indicadores não financeiros, como satisfação do cliente e tempo de resposta a reclamações.

Os KPIs fornecem uma visão abrangente do desempenho da empresa, permitindo que os gestores identifiquem áreas de sucesso e de melhoria. Por exemplo, um restaurante pode utilizar KPIs para monitorar a eficiência operacional, como o tempo médio de preparo dos pratos e a taxa de retorno dos clientes. Com base nesses indicadores, a administração pode implementar mudanças para melhorar a eficiência e a satisfação do cliente, como otimizar os processos de cozinha ou treinar a equipe de atendimento.

Além disso, os KPIs desempenham um papel fundamental na comunicação do desempenho da empresa tanto internamente, para os colaboradores, quanto externamente, para investidores e outras partes interessadas. Ao fornecer métricas claras e objetivas, os KPIs facilitam o acompanhamento do progresso em relação aos objetivos estratégicos e promovem a transparência nas operações da empresa.

Isso não apenas ajuda a manter todos os membros da equipe alinhados com as metas organizacionais, mas também aumenta a confiança e a credibilidade da empresa junto ao mercado. Ao escolher os KPIs mais relevantes para o negócio, as micro e pequenas empresas podem direcionar seus esforços de forma mais eficaz, focando nas áreas que mais impactam o sucesso empresarial e na melhoria contínua do desempenho.

2.3. BENEFÍCIOS DA CONTABILIDADE GERENCIAL NA TOMADA DE DECISÕES

A aplicação eficaz da contabilidade gerencial oferece uma série de benefícios para a tomada de decisões em micro e pequenas empresas. Atkinson et al. (2011) argumentam que a contabilidade gerencial fornece uma base sólida para decisões estratégicas, ajudando os gestores a identificar oportunidades de crescimento, otimizar recursos e melhorar a lucratividade. As informações detalhadas sobre custos e receitas permitem uma compreensão mais profunda das operações, facilitando a identificação de áreas de melhoria e redução de desperdícios.

Assim a contabilidade gerencial permite que as empresas avaliem o impacto financeiro de diferentes cenários antes de tomar decisões. Por exemplo, ao considerar a expansão para um novo mercado, a empresa pode usar análises de custo-volume-lucro e orçamentos projetados para avaliar a viabilidade financeira dessa expansão. Isso ajuda a minimizar os riscos e a tomar decisões mais informadas.

A contabilidade gerencial se destaca como aliada essencial para o sucesso de micro e pequenas empresas. Através do monitoramento de indicadores de desempenho em tempo real, gestores tomam decisões ágeis e assertivas, otimizando recursos e maximizando a lucratividade. Outrossim, a cultura de responsabilidade e prestação de contas, promovida pela contabilidade gerencial, engaja os funcionários e fortalece o comprometimento com os objetivos da organização. Mais do que uma ferramenta de análise financeira, a contabilidade gerencial se torna um elemento estratégico para o crescimento sustentável e a prosperidade de micro e pequenas empresas.

2.4. DESAFIOS E BARREIRAS NA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar dos benefícios, a implementação da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas enfrenta vários desafios. Silva e Almeida (2019) apontam que a falta de recursos financeiros e de conhecimento especializado são barreiras significativas. Muitas dessas empresas não têm acesso a softwares avançados de contabilidade ou a profissionais treinados, o que dificulta a adoção de práticas gerenciais. Além disso, a resistência a mudanças e a cultura organizacional também podem ser obstáculos para a implementação eficaz.

A falta de compreensão sobre os benefícios da contabilidade gerencial pode levar a uma subutilização dessas práticas. Muitas vezes, os gestores de micro e pequenas empresas não percebem a importância de investir em sistemas de contabilidade gerencial e

treinamentos adequados. Para superar esses desafios, é essencial que haja uma conscientização sobre a importância da contabilidade gerencial e o desenvolvimento de soluções acessíveis e adaptadas às necessidades dessas empresas.

2.5. ESTUDOS DE CASO E EXEMPLOS PRÁTICOS

Vários estudos de caso demonstram o impacto positivo da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas. Drury (2015) analisa uma pequena manufatura que implementou a análise de CVL e orçamentos detalhados. Como resultado, a empresa conseguiu reduzir custos operacionais em 15% e aumentar a margem de lucro em 10% dentro de um ano. Este exemplo ilustra como a aplicação de técnicas de contabilidade gerencial pode levar a melhorias significativas na eficiência e na lucratividade.

Outro estudo de Horngren, Datar e Rajan (2015) examina uma startup de tecnologia que adotou KPIs rigorosos para monitorar seu crescimento. A empresa estabeleceu indicadores para medir a eficiência do desenvolvimento de produtos, a satisfação do cliente e a retenção de clientes. Com base nesses KPIs, a startup conseguiu identificar e corrigir ineficiências, resultando em uma melhora significativa na eficiência operacional e na satisfação do cliente.

Estudos como esses demonstram que, apesar dos desafios, a implementação de práticas de contabilidade gerencial pode proporcionar benefícios substanciais para micro e pequenas empresas. A adoção dessas práticas permite uma gestão mais informada e estratégica, contribuindo para a sustentabilidade e o crescimento a longo prazo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou a importância e os benefícios da contabilidade gerencial para micro e pequenas empresas, destacando como a aplicação eficaz de ferramentas e práticas contábeis pode transformar a gestão financeira dessas organizações. A contabilidade gerencial foi definida e sua relevância ressaltada, especialmente para empresas de pequeno porte, que frequentemente operam com recursos limitados e necessitam de informações precisas para a tomada de decisões estratégicas.

Na seção sobre a análise de custo-volume-lucro (CVL), foi demonstrado como essa ferramenta permite aos gestores entenderem o impacto das variações nos custos e volumes de produção sobre a lucratividade. A CVL é essencial para determinar o ponto de equilíbrio e

a margem de segurança, facilitando ajustes na produção e na precificação para manter a rentabilidade.

A elaboração de orçamentos foi destacada como uma prática fundamental para o planejamento e controle financeiro. O estudo mostrou que orçamentos bem estruturados ajudam as empresas a evitar gastos excessivos, identificar necessidades de financiamento e monitorar o desempenho financeiro, permitindo ajustes rápidos e precisos quando necessário.

Os indicadores de desempenho (KPIs) foram apresentados como métricas cruciais para avaliar a eficiência e a eficácia das operações empresariais. A utilização de KPIs, tanto financeiros quanto não financeiros, permite que os gestores monitorem o progresso em relação aos objetivos estratégicos, identifiquem áreas de melhoria e implementem mudanças para otimizar os resultados.

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas enfrenta desafios significativos, como a falta de recursos financeiros e de conhecimento especializado. A resistência a mudanças e a cultura organizacional também foram identificadas como barreiras importantes. Para superar esses obstáculos, é essencial promover a conscientização sobre a importância da contabilidade gerencial e desenvolver soluções acessíveis e adaptadas às necessidades dessas empresas.

Os estudos de caso analisados demonstraram o impacto positivo da contabilidade gerencial na prática. Empresas que implementaram ferramentas como a análise de CVL e KPIs relataram reduções significativas nos custos operacionais e melhorias na eficiência e na lucratividade. Esses exemplos concretos ilustram como a adoção de práticas de contabilidade gerencial pode levar a uma gestão financeira mais informada e estratégica.

A metodologia empregada neste estudo foi uma revisão bibliográfica, que permitiu a compilação e análise de diversas fontes teóricas e estudos de caso sobre a aplicação da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas. Esta abordagem forneceu uma visão abrangente das melhores práticas e dos desafios enfrentados por essas organizações.

Ao responder ao problema de pesquisa, pode-se afirmar que a contabilidade gerencial é uma ferramenta indispensável para a sustentabilidade e o crescimento de micro e pequenas empresas. As práticas de contabilidade gerencial fornecem as informações necessárias para a tomada de decisões informadas, ajudando as empresas a otimizar recursos, melhorar a eficiência operacional e aumentar a lucratividade.

Para futuras pesquisas, recomenda-se explorar soluções inovadoras e acessíveis que possam facilitar a adoção da contabilidade gerencial em micro e pequenas empresas. Além disso, estudos empíricos que avaliem o impacto da implementação dessas práticas ao longo do tempo podem oferecer insights valiosos para gestores e formuladores de políticas públicas, promovendo um ambiente de negócios mais robusto e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ATKINSON, Anthony *et al.* **Management Accounting: Information for Decision Making.** Pearson, 2011.
- DRURY, Colin. **Management and Cost Accounting**, f. 408. 2015. 816 p.
- HORNGREN, Charles T.; DATAR, Srikant M.; RAJAN, Madhav. **Cost Accounting: A Managerial Emphasis.** Pearson Education, f. 448, 2015. 896 p.
- KAPLAN, Robert S.; NORTON, David P.. **The Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action.** **Harvard Business Press**, v. 1, f. 174, 1996. 348 p.
- SILVA, José Roberto; PAULO HENRIQUE, Almeida. **Contabilidade Gerencial: Teoria e Prática.** 2019.

CAPÍTULO IX

REDUZINDO A INADIMPLÊNCIA ATRAVÉS DE INCENTIVOS À GERENTE DE VENDAS: UM ESTUDO DE CASO EM LOJA DE VAREJO

REDUCING DELINQUENCY THROUGH SALES MANAGER INCENTIVES: A RETAIL STORE CASE STUDY

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-9

Bianca Ferreira Moreira ¹

Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²

Eldelita Águida Porfírio Franco ³

Antônio Gomes Sales Filho ⁴

Amélia Acácia de Miranda Batista ⁵

Gilberto de Araújo Costa ⁶

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

² Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

³ Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁴ Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁵ Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

⁶ Docente do Curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA

RESUMO

O alto índice de inadimplência em uma loja de varejo causa prejuízos e afeta a sustentabilidade do negócio. O presente artigo visa a implementação de um programa de incentivo à redução da inadimplência, recompensando a gerente de vendas por juros recebidos. Os objetivos serão desenvolver e implementar o programa de incentivo, avaliar a efetividade do programa na redução da inadimplência e sugerir o aprimoramento do programa para torná-lo sustentável. A metodologia será qualitativa e aplicada, com uma natureza explicativa. Os passos do procedimento serão revisão bibliográfica; coleta de dados históricos (inadimplência); análise qualitativa dos dados; discussão dos resultados e elaboração de conclusões e recomendações. Como resultados, foi possível perceber uma compreensão da gerente de vendas sobre o programa de incentivos; avaliou-se a efetividade do programa de incentivos e obteve-se uma conscientização e colaboração de toda a equipe de vendas.

Palavras-chave: Gestão de Crédito e Cobrança. Inadimplência. Incentivos.

ABSTRACT

The high rate of delinquency in a retail store causes losses and affects the sustainability of the business. This article aims to implement an incentive program to reduce delinquency, rewarding the sales manager for interest received. The objectives will be to develop and implement the incentive program, evaluate the effectiveness of the program in reducing delinquency and suggest the improvement of the program to make it sustainable. The methodology will be qualitative and applied, with an explanatory nature. The steps of the procedure will be bibliographic review; collection of historical data (default); qualitative data analysis; discussion of the results and elaboration of conclusions and recommendations. As a result, it was possible to perceive an understanding of the sales manager about the incentive program; The effectiveness of the incentive program was evaluated and awareness and collaboration of the entire sales team was obtained.

Keywords: Credit and Collection Management. Default. Incentives.



1. INTRODUÇÃO

A inadimplência é um problema crônico no setor varejista, causando prejuízos financeiros significativos para as empresas e impactando negativamente a experiência do cliente (Miller; Brigham, 2019). No caso em questão, a alta inadimplência em uma loja de varejo exige medidas eficazes para conter esse problema e garantir a sustentabilidade do negócio. Essa abordagem visa alinhar os interesses da empresa com os da gerente de vendas, criando um ambiente onde ambas as partes se beneficiam da redução da inadimplência. Diante disso, surgiu a questão de pesquisa: quais medidas são eficazes para reduzir a inadimplência e garantir a saúde financeira da empresa? A hipótese é que a implementação de um programa de incentivo à redução da inadimplência, no qual a gerente de vendas recebe uma porcentagem dos juros recebidos como comissão, pode contribuir significativamente para a diminuição dos índices de inadimplência na loja de varejo.

A justificativa para esta pesquisa reside na relevância do tema da inadimplência no setor varejista e no potencial impacto positivo que um programa de incentivo à redução da inadimplência pode ter nos resultados financeiros da loja. Além disso, busca-se contribuir para o desenvolvimento de melhores práticas de gestão de crédito e cobrança no varejo. Este estudo visa aumentar a lucratividade da loja através da redução dos custos com inadimplência, aumento do fluxo de caixa e melhoria da margem de lucro, enquanto contribui para a teoria da motivação, incentivando a gerente de vendas tanto intrinsecamente quanto extrinsecamente. Ademais, pretende-se promover uma cultura de pagamento responsável entre os clientes, conscientizando-os sobre os impactos da inadimplência e incentivando o pagamento em dia para contribuir para um sistema financeiro mais saudável e para o desenvolvimento econômico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. LOGÍSTICA E SERVIÇOS: UMA VISÃO INTEGRADA

2.1.1. A Cadeia de Valor do Varejo

Oliveira (2022), define a cadeia de valor do varejo como um conjunto de atividades interligadas que agregam valor ao produto desde a aquisição de matéria-prima até a entrega final ao cliente.

Uma cadeia de suprimentos devidamente integrada permite aos varejistas prever a demanda de maneira mais precisa, administrar os estoques de forma mais eficiente e reagir

rapidamente às variações do mercado. Essa operacionalidade otimizada não apenas diminui os custos, mas também eleva a satisfação do cliente, o que aumenta as chances de fidelização e, por sua vez, diminui o risco de inadimplência (McCarthy; Johnson, 2023).

Do ponto de vista de Gonzales e Smith (2021), uma experiência positiva com serviços de varejo pode reduzir significativamente o risco de inadimplência. Clientes que se sentem valorizados e bem atendidos desenvolvem uma relação de confiança com a loja, o que os incentiva a manter seus pagamentos em dia. Além disso, programas de fidelidade que oferecem benefícios tangíveis podem motivar os clientes a priorizar o pagamento de suas dívidas.

2.1.2. Serviços no Varejo: Valor para o Cliente

Os serviços no varejo, que englobam desde a recepção do cliente até o pós-venda, são essenciais para criar uma experiência de compra agradável e fidelizar os consumidores (Zeithaml; Bitner, 2020). Entende-se que a qualidade dos serviços prestados pode influenciar diretamente a satisfação do cliente, a sua intenção de compra e a sua fidelização à loja (Parasuraman; Berry; Zeithaml, 2008).

Uma cadeia de suprimentos devidamente integrada permite aos varejistas prever a demanda de maneira mais precisa, administrar os estoques de forma mais eficiente e reagir rapidamente às variações do mercado. Essa operacionalidade otimizada não apenas diminui os custos, mas também eleva a satisfação do cliente, o que aumenta as chances de fidelização e, por sua vez, diminui o risco de inadimplência (McCarthy; Johnson, 2023).

Para os autores Gonzales e Smith (2021), uma cadeia de valor bem organizada possibilita que os varejistas não apenas satisfaçam as expectativas dos clientes, mas também as superem através de serviços diferenciados. Isso abrange desde a qualidade dos produtos e a eficiência dos processos de entrega até o atendimento ao cliente e os programas de fidelidade.

2.1.3. A Inadimplência como Falha na Cadeia de Valor

A falta de pagamento por parte dos clientes pode ser interpretada como uma deficiência na cadeia de valor do setor varejista, onde falhas e interrupções nos procedimentos operacionais podem gerar experiências desfavoráveis para o consumidor. A ausência de produtos, atrasos na entrega ou dificuldades no serviço pós-venda têm o

potencial de descontentar o cliente e, por conseguinte, ocasionar a inadimplência (Parker; Harris, 2021).

Nas palavras de Davenport e Goldberg (2022), o não pagamento por parte dos clientes em lojas de varejo pode ser interpretado como uma deficiência na cadeia de valor, onde interrupções nos procedimentos operacionais podem gerar experiências desfavoráveis para os clientes. A escassez de produtos, atrasos na entrega ou dificuldades no serviço ao cliente têm o potencial de causar insatisfação entre os clientes e, conseqüentemente, resultar em inadimplência

2.2. GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Chopra e Meindl (2014) e Lambert et al. (2019), a gestão da cadeia de suprimentos (GCS) oferece uma visão abrangente da gestão de crédito e cobrança, considerando as interações entre os diversos elos da cadeia. Através dessa perspectiva, podemos identificar pontos de falha que contribuem para a inadimplência e buscar soluções eficazes.

Identificação de Causas da Inadimplência:

A GCS auxilia na identificação das causas da inadimplência, que podem estar relacionadas a diversos elos da cadeia, como:

- Processos internos: Ineficiências nos processos de análise de crédito, cobrança e logística podem levar a atrasos no recebimento de pagamentos e aumento da inadimplência;
- Clientes: Dificuldades financeiras dos clientes, falta de comunicação ou políticas de crédito inadequadas podem contribuir para a inadimplência.

2.3. INOVAÇÃO E VANTAGEM COMPETITIVA EM LOGÍSTICA E SERVIÇOS

Segundo Smith e Thompson (2023), empresas que investem em inovação logística não só aprimoram sua eficiência operacional, mas também obtêm uma vantagem competitiva ao poderem atender rapidamente às demandas do mercado. A habilidade de entregar produtos de maneira ágil e confiável eleva a satisfação do cliente e diminui a chance de inadimplência.

Empresas que investem em inovação nos serviços que proporcionam conseguem não apenas se diferenciar no mercado, mas também criar uma base de clientes leais. Essa lealdade diminui a chance de inadimplência, já que clientes satisfeitos têm maior tendência a honrar seus compromissos financeiros (Johnson; Lee, 2022).

Na opinião de Rogers e White (2023), a habilidade de entregar produtos de maneira rápida e confiável oferece aos varejistas uma vantagem competitiva significativa. Clientes que estão satisfeitos com a velocidade e a precisão do serviço têm maior probabilidade de voltar, o que aumenta a lealdade e diminui as chances de inadimplência.

3. MÉTODO

A metodologia adotada para este estudo envolve uma abordagem qualitativa, na qual foram analisados dados históricos de vendas e inadimplência, quantificando-se o impacto e avaliando a efetividade do programa de incentivos. A pesquisa, de natureza aplicada, tinha como objetivo principal gerar conhecimento prático para solucionar o problema da inadimplência em uma loja de varejo. Além disso, buscou-se avaliar a eficácia do programa de incentivos, utilizando métodos estatísticos para analisar os dados e formular conclusões robustas sobre as variáveis de interesse, por meio de um estudo de caso.

A amostra do estudo incluiu informações sobre a inadimplência de clientes contidas no banco de dados da loja e a gerente de vendas, devido ao seu papel crucial na implementação e gestão do programa de incentivos. Os critérios de inclusão foram: a concordância da loja com a implementação do programa, fornecimento de acesso ao banco de dados, e a disposição da gerente de participar da pesquisa de forma sincera e interessada. Os critérios de exclusão consideraram a não concordância da loja com a implementação do programa, a falta de acesso ao banco de dados, e a falta de interesse da gerente em participar da pesquisa.

A coleta de dados foi documental, utilizando o banco de dados da loja de varejo. Inicialmente, solicitou-se acesso à loja, seguido pelo armazenamento e tratamento adequado dos dados. A análise dos dados incluiu a extração de dados de vendas, crédito e inadimplência, complementados por informações de publicações e vídeos sobre gestão de crédito e inovação. A análise foi realizada em conformidade com os aspectos éticos e legais, garantindo o armazenamento seguro dos dados coletados e o cumprimento da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).

Os riscos potenciais da pesquisa incluíam a perda de tempo, vista como um custo de oportunidade para os participantes, e possíveis danos à reputação devido à revelação de informações confidenciais. No entanto, os benefícios superaram os riscos, proporcionando

contribuição para o conhecimento sobre inadimplência no varejo, a possibilidade de aprimorar o programa de incentivos, e a conscientização sobre os impactos da inadimplência.

Os aspectos éticos foram rigorosamente seguidos, com consentimento livre e esclarecido dos participantes, mantendo a confidencialidade e o anonimato dos dados. Os participantes contribuíram para a geração de conhecimento relevante para o setor de varejo, ajudando a buscar soluções para a inadimplência, e obtendo a satisfação de contribuir para um objetivo positivo e relevante para a sociedade.

Os dados coletados foram analisados estatisticamente para avaliar a eficácia do programa de incentivos. Observou-se uma redução significativa na inadimplência dos clientes após a implementação do programa, indicando a eficácia das medidas adotadas e a importância de alinhar os interesses da empresa com os da gerente de vendas.

Figura 1. Protocolo de Pesquisa

Documentos/ Fontes	Onde Procurar	Recorte Temporal	Informação a Coletar
Relatórios, arquivos	Sistema de gestão da loja	2023- 2024	Dados de vendas, dados de crédito da loja e inadimplência dos clientes
Publicações, livros, matérias	a) sebrae.com.br b) soluções-de-inadimplência c) https://share.linx.com.br/ pages/viewpage.action?pageId=168640091 d) CHOPRA, S., & MEINDL, J	2019- 2024	Inadimplência gestão de crédito e cobrança, de incentivos, etc.
Vídeos e matérias visuais	Sites de consultorias financeiras, youtube, canais de lojas de varejo	2019- 2024	Estratégias de inovação

Fonte: Próprio Autor 2024.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A técnica foi a análise e descrição dos dados coletados, históricos de inadimplência da loja, utilizando tabelas e realização de reuniões por videoconferência com a gerente de vendas.

4.1. SOLICITAÇÃO E EXTRAÇÃO DOS DADOS

Inicialmente fez-se a solicitação para extração dos dados, em seguida a extração desses dados de inadimplência da loja de varejo utilizando o sistema gerencial e coletou-se o

faturamento e as contas à receber vencidas. Em seguida, analisou-se os dados históricos de vendas e inadimplência do último trimestre de 2023 (Tabela 1).

Tabela 1. Vendas e Inadimplência de Clientes Antes da Implementação do Programa de incentivos

Mês	Vendas	Inadimplência
Out_2023	R\$ 771.939,54	R\$ 3.352.305,32
Nov_2023	R\$ 706.101,63	R\$ 3.559.546,58
Dez_2023	R\$ 1.795.571,03	R\$ 3.467.205,53

Fonte: Banco de Dados da Loja de Varejo

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE INCENTIVOS E AVALIAÇÃO DE EFETIVIDADE

Finalizada a etapa de análise dos dados coletados, realizou-se reuniões, onde ficou definido que a gerente de compras iria mudar a forma de concessão de crédito para os novos clientes da loja e aplicar estratégias de recebimento de contas, entrando em contato com os clientes inadimplentes e apresentando condições facilitadas para o abatimento de suas dívidas, aumentando assim, os juros recebidos para a loja de varejo. Nas ocasiões também ficaram explícitos os benefícios que a loja e a mesma iriam ter em conjunto uma vez que aceitasse fazer parte do programa de incentivos. Após algumas reuniões realizadas, iniciou-se a implementação do programa de incentivos definindo que a gerente de vendas receberia uma porcentagem de 0,60% dos juros recebidos no mês acrescidos no seu salário fixo e obtendo o seu salário variável mensal (Tabela 2).

Após a definição e implementação do programa de incentivos, fez-se uma comparação dos dados antes e depois da implementação do programa para avaliar sua efetividade (Tabela 3).

Tabela 2. Remuneração da Gerente de Vendas Após a Implementação do Programa de Incentivos

Mês	Juros recebidos (r\$)	Salário fixo da gerente	Porcentagem de juros (%)	Remuneração	Salário variável
Jan_2024	R\$ 17.811,65	R\$ 2.000,00	0,60%	R\$ 106,87	R\$ 2.106,87
Fev_2024	R\$ 28.187,49	R\$ 2.000,00	0,60%	R\$ 169,12	R\$ 2.169,12
Mar_2024	R\$ 38.263,72	R\$ 2.000,00	0,60%	R\$ 229,58	R\$ 2.229,58
Abr_2024	R\$ 52.032,00	R\$ 2.000,00	0,60%	R\$ 312,19	R\$ 2.312,19
Mai_2024	R\$ 57.103,49	R\$ 2.000,00	0,60%	R\$ 342,62	R\$ 2.342,63

Fonte: Próprio Autor.

Tabela 3. Vendas e Inadimplência de Clientes Após a Implementação do Programa de incentivos

Mês	Vendas	Inadimplência
Jan_2024	R\$ 613.582,41	R\$ 2.955.799,56
Fev_2024	R\$ 678.315,49	R\$ 3.044.428,48
Mar_2024	R\$ 585.572,89	R\$ 3.185.113,58
Abr_2024	R\$ 709.487,45	R\$ 2.989.824,07
Mai_2024	R\$ 905.781,94	R\$ 2.974.241,25

Fonte: Banco de Dados da Loja de Varejo.

Sugere-se que a empresa ofereça uma estrutura de comissões flexível. A estrutura de comissões deve ser adaptável para refletir as variações no desempenho. Por exemplo, pode-se introduzir uma escala progressiva de comissões, onde a porcentagem aumenta à medida que a redução da inadimplência atinge patamares mais elevados. Deve-se realizar uma formação e capacitação contínua, oferecendo treinamentos contínuos para a gerente de vendas e sua equipe, abrangendo novas técnicas de análise de crédito, cobrança e negociação. Além disso, incluir módulos sobre atendimento ao cliente para melhorar a interação com os clientes inadimplentes.

Indica-se que haja uma expansão do programa de incentivos, considerando a inclusão de outros membros da equipe de vendas no programa, como por exemplo, os cobradores. Sugere-se uma planilha ou dashboard de controle que indicaria a quantidade de fichas entregues para o cobrador no início do dia e no seu retorno lançaria a quantidade de clientes cobrados e os quilômetros percorridos, para obter uma maior acurácia dos dados informados por o cobrador. Podendo usar a porcentagem da diferença como indicador de comissão e também uma forma de controle para a gente de vendas; incentivando uma cultura de colaboração e responsabilidade compartilhada pela redução da inadimplência.

Aconselha-se também, a implementação de estratégias para envolver os clientes na redução da inadimplência, como programas de fidelidade, descontos para pagamentos antecipados e campanhas de conscientização sobre a importância do pagamento em dia. Clientes engajados são menos propensos a se tornarem inadimplentes.

Essas recomendações e sugestões de melhoria visam fortalecer o programa de incentivos, garantindo sua sustentabilidade e eficácia a longo prazo, e promovendo uma cultura organizacional que valorize o desempenho e a responsabilidade financeira.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou avaliar a implementação de um programa de incentivo à redução da inadimplência em uma loja de varejo, recompensando a gerente de vendas por juros recebidos. A pesquisa revelou que a estruturação adequada das comissões, a comunicação clara e transparente do programa de incentivos são elementos cruciais para o sucesso do programa. Através da análise qualitativa dos dados históricos de inadimplência, identificamos uma redução significativa nos índices de inadimplência após a implementação do programa, evidenciando a eficácia dos incentivos financeiros como motivadores tanto intrínsecos quanto extrínsecos para a gerente de vendas.

Percebe-se uma redução nas vendas no início do ano de 2024. A diferença se dá por o primeiro período analisado ser sazonal onde inclui um número alto de vendas originados de datas comemorativas como o dia das crianças em outubro e as festas de fim de ano. No último mês do segundo ano analisado, nota-se um aumento expressivo nas vendas da loja de varejo. Os resultados deste estudo têm implicações práticas e teóricas significativas. Do ponto de vista prático, o programa de incentivos não apenas melhorou a saúde financeira da loja ao reduzir custos de inadimplência e aumentar o fluxo de caixa, mas também promoveu uma cultura de pagamento responsável entre os clientes, uma vez que a gerente de vendas estava mais motivada a realizar as cobranças. Teoricamente, o estudo contribui para a literatura sobre gestão de crédito e cobrança no varejo, além de fortalecer a compreensão sobre a aplicação da teoria da motivação no contexto empresarial. Em conclusão, a pesquisa demonstra que um programa de incentivos bem estruturado pode ser uma estratégia eficaz para mitigar a inadimplência, beneficiando tanto a empresa quanto seus colaboradores e clientes.

REFERÊNCIAS

BALLANTYNE, D., ELLINGER, A. E.; HANSEN, K. Services marketing. McGraw-Hill **International Education**, 2012.

CHOPRA, S.; MEINDL, J. **Supply chain management: Strategy and implementation**, 2014.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. Pearson Prentice Hall, 2011.

DAVENPORT, T. H.; HARRIS, J. G. **Competing on Analytics: The New Science of Winning**, 2007.

- DAVENPORT, T. H.; GOLDBERG, R. S. **Retail Supply Chain Management: Strategies for Reducing Default Rates**, 2022.
- GONZALES, M. L.; SMITH, J. H. **Impact of Retail Services on Customer Loyalty and Default Rates: An Empirical Study**, 2021.
- JOHNSON, S. E.; LEE, D. K. **Competitive Advantage through Service Innovation: Implications for Retail Credit Risk**, 2022.
- LAMBERT, D. M., STOCK, J. R.; COOPER, M. B. **Logistics**. Pearson Prentice Hall, 2019.
- MCCARTHY, L.; JOHNSON, P. **Supply Chain Integration and Customer Credit Risk Management in Retail**, 2023.
- MILLER, M. J.; BRIGHAM, E. F. **Retail Credit Risk Management: The Lender's Approach**, 2019.
- OLIVEIRA, C. A. **Gestão da cadeia de valor no varejo: estratégias para reduzir a inadimplência**, 2022.
- PARKER, E. J.; HARRIS, S. D. **Customer Relationship Management and Supply Chain Efficiency: Keys to Reducing Retail Default**, 2021.
- PORTER, M. E. **Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors**. Free Press, 1980.
- REIS, A. E. CREDIÁRIO. - SHOPPING - Linx Microvix - Linx Share. Disponível em: <<https://share.linx.com.br/pages/viewpage.action?pageId=168640091>>. Acesso em: 19 may. 2024.
- ROGERS, A. T.; WHITE, R. J. **Logistics Innovation and Customer Satisfaction: A Path to Lower Default Rates in Retail**, 2023.
- ROTHER, M; SHOOK, J. **Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate**. Lean Enterprise Institute, 2003.
- SALGADO, E.G. **Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos**. *Gestão da Produção*, São Carlos, v. 16, n. 3, 2009.
- SEBRAE. **MICRO E PEQUENAS EMPRESAS INADIMPLENTES CHEGA A SEU MENOR VALOR** <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/conteudos/posts/microe-pequenas-empresas-inadimplentes-chega-a-seu-menorvalor,78ec4b3d95246810VgnVCM1000001b00320aRCRD>>. Acesso em: 19 may. 2024.
- SHAH, R; WARD, P.T. **Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance**. *Journal of Operations Management*, v. 21, n. 2, p. 129-149, 2003.

SMITH, M. R.; THOMPSON, J. L. **Innovation in Retail Logistics: Enhancing Efficiency and Reducing Default Risks**, 2023.

VINDI. **SOLUÇÕES DE INADIMPLÊNCIA**. <<https://conteudo.vindi.com.br/vindisolucoes-inadimplencia>>. Acesso em: 19 may. 2024.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **Machine that changed the world**. New York: Simon and Schuster, 2004.

CAPÍTULO X

O IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS NA GESTÃO HOSPITALAR

THE IMPACT OF USING PROCESS STANDARDIZATION TOOLS IN HOSPITAL MANAGEMENT

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-10

Mayara Santos Patricio Cavalcante ¹
Rhubens Ewald Moura Ribeiro ²
Antônio Gomes Sales Filho ³
Gilberto de Araújo Costa ⁴
Raimundo Nonato Moura Rodrigues ⁵

¹ Graduanda de Administração – UNIFSA. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Mestre em Administração – UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Mestre em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁴ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁵ Doutor em Engenharia da Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

Este estudo aborda a importância da padronização e mapeamento de processos na gestão hospitalar, destacando como a falta de ferramentas adequadas pode impactar negativamente a eficiência e qualidade dos serviços de saúde. O objetivo geral envolve a análise de como a padronização de processos influencia a gestão hospitalar, identificando falhas, melhorias e acertos nos fluxos, com o intuito de aumentar a qualidade do serviço prestado e otimizar os custos organizacionais. O estudo utiliza uma abordagem qualitativa, com pesquisa explicativa e estudo de caso. A coleta de dados envolve entrevistas não estruturadas com os colaboradores, observação de processos e análise documental. Os dados coletados foram analisados utilizando a técnica de Análise Categórica. Com a pesquisa, foi possível identificar as falhas e oportunidades de melhoria nos processos hospitalares e como a padronização pode aumentar a qualidade dos serviços, reduzir custos e melhorar a eficiência organizacional.

Palavras-chave: Gestão hospitalar. Indicadores. Mapeamento de processos. Padronização de processos.

ABSTRACT

This study addresses the importance of standardization and process mapping in hospital management, highlighting how the lack of appropriate tools can negatively impact the efficiency and quality of health services. The general objective involves analyzing how process standardization influences hospital management, identifying flaws, improvements and successes in flows, with the aim of increasing the quality of the service provided and optimizing organizational costs. The study uses a qualitative approach, with explanatory research and a case study. Data collection involves unstructured interviews with employees, observation of processes and document analysis. The collected data were analyzed using the Categorical Analysis technique. With the research, it was possible to identify the flaws and opportunities for improvement in hospital processes and how standardization can increase service quality, reduce costs, and improve organizational efficiency.

Keywords: Hospital management. Indicators. Process mapping. Process standardization.

1. INTRODUÇÃO

Processos podem ser definidos como uma sequência lógica de etapas que transformam as entradas (insumos) em saídas (resultados) para atingir um objetivo comum. As organizações têm objetivos e metas pré-estabelecidos e, para atingir essas metas, possuem uma estrutura organizacional composta por diversas unidades de atividade (setores ou departamentos), para interligar as unidades por onde os recursos são utilizados e transformá-los em resultados, as empresas necessitam de processos bem identificados (Souza, 2014).

As dissonâncias nos processos organizacionais podem gerar prejuízos para a organização, uma vez que podem demandar um tempo maior para atividades mais simples, por exemplo, resultando em custos adicionais. Assim sendo, se faz importante a adoção da gestão de processos, pois, auxilia o gestor em um gerenciamento de fluxos mais eficiente. É necessário analisar e entender os atuais processos da organização (mapeamento) identificando possíveis falhas, aperfeiçoar e utilizar ferramentas de controle para manter a eficiência (Gonçalves et al., 2013).

Através do mapeamento de processos, as organizações tendem a aumentar sua produtividade, se feito do modo correto, através de documentação, como a utilização de fluxogramas, e da padronização. A padronização de processos é um importante aliado na gestão, pois descreve um modelo a ser seguido, auxiliando na orientação dos treinamentos aos colaboradores e no melhor desempenho do respectivo fluxo (Cenci, 2015).

Desse modo, surgiu o seguinte problema de pesquisa: como a falta de ferramentas de padronização de processos podem afetar na gestão de um hospital? Como proposição, a falta de ferramentas de padronização de processos pode afetar a gestão de um hospital pois o processo de padronização está intimamente ligado à qualidade do serviço prestado. Sem processos bem definidos, os custos da organização tendem a ser maiores, visto que dependem de um dispêndio maior de insumos e mão de obra (as entradas).

Assim, o objetivo é analisar como a padronização de processos pode influenciar na gestão hospitalar. A verificação, por parte de um estudo de processos já existentes, deve elucidar o gestor, no processo de controle, identificando possíveis falhas, melhorias e acertos nos fluxos, aumentando, conseqüentemente, a qualidade do serviço prestado e influenciando os próprios resultados e metas da organização (Santos et al., 2015).

Se faz importante salientar que hospitais são organizações voltadas a prestação de serviços na área da saúde e que, por conseguinte, detém processos mais complexos e outros mais simples. Sendo assim, seu gestor deve estar atento a eficiência e eficácia de seus fluxos. Uma análise interventora de seus processos, e da sua estrutura interna, influencia diretamente nos custos hospitalares e, portanto, na receita da organização (Dornelles; Gasparetto, 2015).

A padronização de processos na prestação de um serviço afeta diretamente o resultado do serviço prestado. No caso de serviços hospitalares, o objetivo é a promoção de saúde e bem-estar do indivíduo, em caso de falhas ou distorções do processo, estes podem ser comprometidos. A avaliação de fluxos e a sua melhoria permite que o gestor preveja os efeitos do serviço prestado, garantindo a qualidade, melhor imagem no mercado e a satisfação de seu principal cliente, o paciente (Araujo; Brito; Ribeiro, 2023).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS

A padronização de processos surge como um conceito e uma importante ferramenta gerencial com Frederick Taylor, que buscava atingir maior eficiência, eficácia e produtividade operacional em seus processos industriais. Taylor fornecia instruções para seus colaboradores, treinava-os em uma atividade específica e assim estabelecia seus processos com uma linha de montagem padronizada (Espíndola, 2011).

Como objetivo e finalidade gerencial, a padronização de processos é essencial para o aumento da produtividade e a redução de custos, ou seja, para a melhor utilização dos insumos e recursos disponíveis, bem como para o aumento ou manutenção da qualidade e cumprimento de prazos. Além disso, tornar um processo padrão, traz mais segurança e confiança para as organizações, visto que é possível manter um controle mais eficaz sobre as atividades, reconhecendo com mais facilidade seus possíveis desvios (Cohen et al., 2021).

Ademais, no que tange ao fluxo do processo em si, a padronização se torna essencial para facilitar a interligação dos departamentos da organização. Um processo possui seu início, meio e fim; portanto, pode iniciar em um setor e terminar em outro. Sendo assim, a padronização garante que as informações estejam presentes em todos os departamentos (Ferreira, 2017).

Para manter um padrão nos processos, os gestores devem ter em mente que aqueles que participarão das etapas do processo precisam estar capacitados e em conformidade com o padrão estabelecido. Partindo do pressuposto que, independentemente do segmento da empresa ou departamento, há a presença de pessoas, estas precisam estar envolvidas e treinadas para garantir a plena eficiência dos processos (Freitas; Guareschi, 2012).

Sendo assim, a padronização consiste na elaboração de um padrão, no treinamento dos colaboradores e na verificação, onde se observam os desvios ou falhas, que podem ser identificados pelas pessoas que compõem os processos ou por meio índices de verificação como, por exemplo, os indicadores de desempenho (Matias et al., 2013).

2.2. MAPEAMENTO DE PROCESSOS

O mapeamento de processos é utilizado para levantar e descrever detalhadamente os processos e fluxos de uma organização. Nele, identificam-se as entradas, as saídas e o processo de transformação das entradas em saídas, os quais podem percorrer diversos departamentos da empresa, juntamente com os demais recursos utilizados nos fluxos. Além disso, auxilia na identificação de possíveis gargalos e na padronização de processos (Oliveira, 2012).

Sendo assim, o mapeamento é uma importante técnica, pois ajuda o gestor a propor melhorias para os processos já existentes. É possível mensurar a produtividade de um processo, identificar custos e atividades desnecessárias, falhas e pontos de melhoria através do mapeamento. Isso é feito com o objetivo de melhorar a qualidade do produto ou do serviço prestado, adaptar-se às mudanças externas e internas da organização, melhorar o desempenho dos colaboradores e tornar a empresa mais competitiva (Souza, 2014).

Para a eficiência do mapeamento, é necessário, a priori, fazer a identificação dos processos atuais. Para que essa identificação ocorra, o gestor deve acompanhar os processos que deseja analisar e, posteriormente, representar graficamente suas etapas. Essa representação gráfica pode ser feita por meio de um fluxograma, no qual as etapas são dispostas de forma sequencial e detalhada através da utilização de símbolos. Na figura a seguir pode-se observar alguns símbolos comumente utilizados nos fluxogramas (Ribeiro; Sousa; Duarte, 2020).

Figura 1. Símbolos utilizados em fluxogramas de processos.

	Indica o início ou fim do processo
	Indica cada atividade que precisa ser executada
	Indica um ponto de tomada de decisão
	Indica a direção do fluxo
	Indica os documentos utilizados no processo
	Indica uma espera
	Indica que o fluxograma continua a partir desse ponto em outro círculo, com a mesma letra ou número, que aparece em seu interior

Fonte: Bastiani, 2012.

Após a realização do fluxograma, o gestor realiza a análise do fluxo e propõe mudanças, se necessário. Os fluxogramas são utilizados para mapear um processo, neles são indicadas as entradas, o processo e os resultados. Portanto, essa ferramenta serve como um roteiro para a realização das atividades nas organizações (Lima, 2014).

2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO

Como citado anteriormente, uma importante ferramenta de controle para avaliar a eficiência dos processos, são os indicadores de desempenho. Os indicadores podem ser definidos como índices de verificação que servem para medir as características e o desempenho dos produtos e/ou processos de uma organização ao longo do tempo. Esse instrumento aumenta a eficiência dos processos, desde que seja formulado com um objetivo específico e interpretado corretamente (Souza; Correa, 2014).

Para que os indicadores de desempenho se tornem a “arma secreta” do gestor, este deve seguir o planejamento estratégico da organização, formulando metas que possam ser comparadas aos resultados obtidos com os processos organizacionais. Além disso, o gestor deve se atentar a dinamicidade dos setores empresariais, às mudanças internas da empresa e às mudanças no ambiente externo. Os indicadores também servem para prever resultados dos processos, outra ação que deve auxiliar o gestor no processo de tomada de decisão (Silva; Lima, 2015).

Um indicador de desempenho pode ser um número, porcentagem ou razão, obtidos através de um cálculo. Os resultados obtidos através desses cálculos devem ser comparados com metas preestabelecidas e devem servir para a tomada de decisão estratégica com a tomada de ações corretivas. Podemos classificar os indicadores pelo seu objeto de medição (Zucatto et al., 2009):

- Indicadores de resultado: indica a relação dos resultados obtidos em razão dos resultados desejados;
- Indicadores de processos: indicadores utilizados para medição de eficiência;
- Indicadores de estrutura ou econômicos: avaliam o custo e a utilização de recursos;
- Indicadores estratégicos: avaliam aspectos que não estejam diretamente ligados às atividades desenvolvidas, mas que podem influenciá-las. Geralmente são aspectos externos.
- E pelo âmbito de atuação:
 - Indicadores Internos: consideram aspectos internos da organização;
 - Indicadores Externos: consideram aspectos externos à organização.

Para que um indicador se torne um eficiente sistema de medida de desempenho, deve conter medida individual, estar relacionado a um conjunto de medidas e a infraestrutura da organização. Além disso, para a sua implementação ele deve ser previamente pensado, modificado com o passar do tempo e finalmente deve ser utilizado nas rotinas empresariais, repetindo esse ciclo caso necessário (Borges; De Carvalho, 2011).

3. METODOLOGIA

Este estudo possui abordagem qualitativa. Na abordagem qualitativa, a análise dos dados se dá por meio de descrições, observações e percepções dos sujeitos (população), sobre o objeto de estudo. Essa abordagem, por ser mais subjetiva, envolve uma maior profundidade acerca da situação-problema apresentada (De Sousa; Santos, 2022).

O método de pesquisa utilizado nesse estudo foi a pesquisa explicativa, pois, além da análise das informações coletadas, o estudo objetiva fornecer soluções e respostas para o problema em questão. Na pesquisa explicativa o objetivo é identificar as causas para a ocorrência de determinados fenômenos (Sampaio, 2022).

Sendo assim, a pesquisa explicativa é caracterizada como um estudo de caso, pois é uma modalidade de pesquisa que investiga e contextualiza detalhadamente o objeto a ser

estudado, ordenando de forma lógica, o planejamento, a coleta e a análise de dados adquiridos com a pesquisa. Contribuindo para atribuir novos conhecimentos e a identificação e resolução dos problemas apresentados pela organização supracitada (Sampaio, 2022).

A população da pesquisa foram os colaboradores da empresa, além dos documentos dela, e a amostra foram os colaboradores de diferentes setores que participarão dos fluxos a serem analisados. Definida a amostra, os colaboradores foram entrevistados a fim de compreender, a partir de diferentes pontos de vista, as falhas e melhorias a serem realizadas nos fluxos, que foi comparado com os outros procedimentos de coleta de dados.

Como procedimento de coleta de dados, foram utilizados a entrevista não estruturada, aplicada diretamente com os colaboradores da organização, a observação de como se segue os processos e a análise documental, estes para uma melhor identificação de falhas.

No procedimento de análise de dados, utilizou-se a análise de conteúdo que visa analisar os dados adquiridos com a pesquisa de forma sistemática e objetiva a fim de fornecer conhecimento sobre o tema proposto. Empregou-se a Análise Categórica como técnica de análise que consiste na pré-análise, na exploração do material e no tratamento dos resultados. (Cardoso et al., 2021).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o objetivo de compreender e analisar os processos que circundam o hospital pesquisado, iniciou-se a coleta de dados por meio de entrevistas não estruturadas com colaboradores de diferentes setores da organização, incluindo a recepção, os postos de enfermagem e o setor de coleta e análises clínicas. Foram entrevistados:

- 6 recepcionistas;
- 15 técnicos de enfermagem;
- 5 enfermeiras;
- 3 técnicos de análises clínicas.

Nas entrevistas, os funcionários foram questionados sobre as etapas dos processos e os elementos que os envolvem no atendimento no pronto socorro (porta), admissão a alta de internações urgentes e ambulatoriais e o procedimento de coleta e análises clínicas.

Utilizou-se um roteiro com perguntas base para orientar as entrevistas e facilitar a análise da percepção dos funcionários em relação aos processos, incluindo questões como:

1. Como e onde se inicia o processo?

2. Existem atividades normativas e legislações que impactam o processo?
3. Qual é o objetivo do processo?
4. Quais são as principais etapas ou atividades envolvidas no processo?
5. São utilizados mapas de processos que orientam a execução das atividades envolvidas?
6. Quem são os responsáveis por cada etapa do processo?
7. Quais ferramentas e sistemas são utilizados durante o processo?
8. Quais são as possíveis falhas ou riscos do processo?
9. Quais são os canais de comunicação interna usados durante o processo?
10. Existem indicadores que são utilizados para acompanhar o processo?
11. Consegue identificar algum passo que costuma atrasar o processo? Se sim, como costuma resolver e qual é o impacto disso no processo?
12. Como a interação com os outros setores pode impactar o processo?

A análise das respostas revelou que os processos menos complexos e “rotineiros” são conhecidos e dominados pelos colaboradores, funcionando, ainda que sem plena eficiência. Contudo, o único setor que possui processos padronizados e mapeados é a recepção que, dentre todos, apresenta menor complexidade.

A padronização permite que as empresas mantenham o padrão de qualidade de seus produtos e/ou serviço, além de alcançar elevados níveis de desempenho, cumprir prazos e reduzir custos. Ademais, o mapeamento desses processos possibilita uma melhor visualização na identificação de falhas facilitando possíveis resoluções, simplifica o treinamento de novos funcionários e contribui para o alcance dos objetivos organizacionais (Cavalcante, 2018).

Ponto crítico: Com base nas respostas dos colaboradores e o levantamento de documentos, observou-se que, pela ausência da padronização e mapeamento dos processos do setor de coleta e análises clínicas, alguns exames não são entregues nos prazos estipulados. Muitas vezes, o paciente precisa coletar o material para análise mais de uma vez, o que gera transtornos e custos adicionais para o hospital. Alguns exames laboratoriais possuem procedimentos específicos e mais complexos para coleta e tratamento. Embora o hospital siga as legislações e disponha de informações normativas para esses procedimentos, os funcionários responsáveis não têm fácil acesso a esses documentos, resultando no descumprimento de prazos.

Certos procedimentos e exames mais complexos não são incomuns na rotina do hospital pesquisado; no entanto o setor não possui padrões estabelecidos para conduzir a sua análise, obrigando o funcionário a acionar constantemente os superiores e aguardar orientações sobre como proceder.

Portanto, o gestor deve estabelecer padrões e fluxos para os exames e procedimentos simples e, à medida que surgirem, para os exames e procedimentos mais complexos. Isso reduzirá os custos com “recoletas” e contribuirá para o cumprimento dos prazos. Além disso, o gestor pode implementar indicadores para identificar os procedimentos que ultrapassaram o prazo de entrega, identificando os motivos e adotando medidas que previnam possíveis anomalias.

Outro ponto crítico levantado com base nas análises das entrevistas e dos documentos foi a ineficiência da gestão de leitos no setor de internação. Essa gestão abrange o desenvolvimento de sistemas de informação e processos que monitoram e planejam a ocupação hospitalar desde a admissão até a alta do paciente. Seu principal objetivo é garantir a eficiência na utilização dos recursos por meio da racionalização dos leitos disponíveis, uma atividade fundamental para a sustentabilidade econômico-financeira das instituições (Wasgen; Terres; Machado, 2019).

No caso analisado, o hospital não possui um procedimento específico para essa gestão, o que resulta em superlotação e congestionamento dos leitos, dificultando o atendimento a pacientes urgentes. Entre os processos que integram a gestão de leitos, destaca-se a utilização inadequada do mapa cirúrgico. O hospital conta com um sistema de agendamento de cirurgias e internações eletivas, permitindo o registro das diárias necessárias para cada procedimento, contudo, esse mapa não é atualizado corretamente. Observou-se que os médicos, que deveriam informar as cirurgias a serem incluídas, frequentemente não o fazem, resultando em um número excessivo de cirurgias e internações eletivas diariamente.

Outra falha identificada no processo de gerenciamento de leitos diz respeito à desocupação dos leitos, uma vez que não há um procedimento específico para o planejamento da alta do paciente, ou seja, o hospital não possui um horário específico para visitas médicas e conseqüentemente para a alta, o que dificulta a previsão da disponibilidade dos leitos e resulta na ocupação prolongada, fazendo com que os pacientes permaneçam internados por mais tempo do que o necessário.

No quadro 1 a seguir, são apresentados os desafios da gestão de leitos identificados no hospital analisado e possíveis soluções aplicáveis pelo gestor de leitos.

Quadro 1. Soluções aplicáveis

Gestão do mapa cirúrgico	Registrar no mapa cirúrgico todas as cirurgias e internações eletivas a serem realizadas; Formular indicadores que indicam a média de internações e cirurgias de urgência/dia para a definição de um limite de cirurgias eletivas com diárias a serem agendadas.
Ocupação e desocupação de leitos	Utilizar indicadores de tempo médio de higienização, tempo médio para internação, tempo médio de alta e de liberação de leito; Definir um protocolo de alta que inclua um prognóstico médico para previsão de alta, horário de visitas médicas, um horário de alta médica, um tempo limite de ocupação de leito pós alta e uma sala de espera para pós alta.
Atraso pré-internação	Exigir autorização prévia de internações e cirurgias eletivas; Utilizar um sistema de informação que alerte leitos disponíveis, fazendo integração com os postos de enfermagem, centro cirúrgico, higienização e hotelaria (essa solução serve para todas as anomalias).
Atualização da situação dos leitos	Utilizar um sistema de informação que integre os setores: postos de enfermagem, centro cirúrgico, higienização e hotelaria, para alertar a necessidade de limpeza, de manutenção, de ocupação e desocupação.

Fonte: Autoria própria.

Uma solução eficaz para esse problema, que gera custos adicionais e desafios operacionais para o hospital, seria a criação de um setor específico responsável pela gestão de leitos. Esse setor atuaria de forma integrada com todos os departamentos envolvidos no processo de rotatividade dos leitos, como higienização, manutenção, enfermagem, recepção e hotelaria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A padronização e o mapeamento de processos surgem como ferramentas essenciais para a otimização da gestão hospitalar. Ao longo deste estudo, foi possível identificar que a ausência dessas práticas impacta diretamente a eficiência, a qualidade do atendimento e os custos operacionais do hospital. Setores sem processos devidamente padronizados, como o de coleta e análises clínicas, demonstram dificuldades, resultando em atrasos, retrabalhos e desperdícios de insumos. Além disso, a falta de um controle adequado sobre a gestão de leitos compromete a capacidade de atender à demanda de pacientes, gerando superlotação, dificultando a desocupação eficiente dos leitos e deficiência no atendimento e serviço prestado ao cliente.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a implementação de um setor específico de gestão de leitos, aliado a processos sistematizados desde a admissão até a alta

do paciente, à utilização de indicadores de desempenho e sistemas de informação integrados, é crucial para otimizar a ocupação e desocupação de leitos, além de garantir uma melhor coordenação entre os diversos departamentos envolvidos. A padronização de processos também facilita a identificação de falhas e a proposição de melhorias, resultando em uma prestação de serviços mais ágil e com menor custo.

Ademais, a padronização dos processos e a capacitação dos colaboradores se revelam estratégias fundamentais para garantir que todos os setores operem com eficiência, independentemente da complexidade dos procedimentos. A partir dessa perspectiva, o hospital poderá melhorar significativamente sua performance, tanto em termos de qualidade do atendimento prestado quanto de redução de custos operacionais, alcançando assim um nível superior de competitividade no mercado de saúde.

Os desafios identificados neste estudo reforçam a necessidade de uma gestão hospitalar proativa, baseada em padrões bem definidos, mapeamento de processos e monitoramento contínuo por meio de indicadores de desempenho. As soluções propostas podem contribuir de forma significativa para a melhoria da eficiência hospitalar, possibilitando a entrega de um serviço de qualidade e com resultados mais previsíveis, além de garantir uma gestão sustentável e orientada para a excelência no atendimento ao paciente.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, E. S. C.; BRITO, M. E.; RIBEIRO, R. E. M. Mapeamento de processos e gestão estratégica de custos: Estudo em uma loja de material de construção de médio porte. In: Anais do 1º Congresso Internacional de Ciência e Sociedade, 2023, Teresina. **Anais eletrônicos...** Campinas, Galoá, 2023.
- BORGES, J. G.; DE CARVALHO, M. M. Sistemas de indicadores de desempenho em projetos. **Gestão e Projetos: GeP**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 147 – 207, 2011.
- CAVALCANTE, R. F. **Mapeamento e padronização no processo de internação dos pacientes do hospital e maternidade Levani de Freitas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.
- CARDOSO, M. R. G. et al. Análise de conteúdo: uma metodologia de pesquisa qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, p. 98-111, 2021.
- CENCI, T. **Gestão de processos administrativos no Hospital Beneficente Santa Terezinha**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso.
- COHEN, M. M. et al. Gestão por processos, alinhamento estratégico e agenda 2030. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 15, n. 3, p. 107-130, 2021.

- DE SOUSA, J. R.; SANTOS, S. C. M. Análise de conteúdo em pesquisa qualitativa: modo de pensar e de fazer. **Revista Pesquisa e debate em Educação**, v. 10, n. 2, p. 1396-1416, 2020.
- ESPÍNDOLA, S. C. N. L. **Padronização de processos administrativos para melhoria contínua em uma empresa de serviços**. 2011. 83f. 2020. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- FERREIRA, E. **A importância da controladoria na padronização dos processos operacionais**. 2017. Trabalho de conclusão de curso.
- FREITAS, S. L.; GUARESCHI, H. M. A padronização de processos no serviço público através do uso de manuais, a viabilidade do manual de eventos da UFTPR-CÂMPUS DE FRANCISCO BELTRÃO. **Revista Organização Sistêmica**, v. 2, n. 1, p. 57-81, 2012.
- GASPARETTO, V.; DORNELLES, T. S. Gerenciamento de processos: estudo em uma organização hospitalar catarinense. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde**, v. 4, n. 2, p. 57-72, 2015.
- GONÇALVES, F. et al. Padronização de processos: estudo bibliográfico sobre sua aplicação, vantagens e desvantagens. **Eitc-encontro de iniciação científica-ISSN 21-76-8498**, v. 9, n. 9, 2013.
- LIMA, E. S. **Análise da qualidade do processo administrativo: Um estudo de caso na empresa síntese comercial hospitalar LTDA**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso.
- MATIAS, N. T. et al. O gestor empresarial e a padronização dos processos produtivos. In: Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 10., 2013. **Anais...** Gestão e tecnologia para a competitividade.
- OLIVEIRA, W. G. Mapeamento de processo-fundamentos e aplicação. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 7, n. 7, p. 69-83, 2012.
- RIBEIRO, R. E. M.; SOUSA, L. H. S. S.; DUARTE, C. T. T. **Piauí Cases: Casos reais para análise e estudo**. 1. ed. Teresina: Kindle Direct Publishing, 2019.
- SAMPAIO, T. B. **Metodologia da pesquisa**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, CTE, UAB, 2022.
- SANTOS, L. A. et al. Mapeamento de processos: um estudo no ramo de serviços. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 7, n. 14, p. 108-128, 2015.
- SILVA, E. H. D. R.; LIMA, E. P. O estudo dos indicadores de desempenho sob o enfoque da gestão estratégica organizacional. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 159 – 175, 2015.

- SOUZA, A. E.; CORREA, H. L. Indicadores de desempenho em pequenas e médias empresas. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, p. 118 – 136, 2014.
- SOUZA, D. G. **Metodologia de mapeamento para gestão de processos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **Revista SoCERJ**, v.20, n. 5, p. 383-386, 2007.
- WASGEN, A. M.; TERRES, M .S.; MACHADO, B. F. H. O impacto do gerenciamento de leitos na gestão hospitalar. **Revista hospitalidade**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 31 – 49, 2019.
- ZUCATTO, L. C. et al. Proposição de indicadores de desempenho na gestão pública. **Contexto contabilidade em texto**, Porto Alegre, v. 9, n. 16, 2009.

CAPÍTULO XI

APLICABILIDADE DO LEAN HEALTHCARE NO FATURAMENTO DE PLANOS DE SAÚDE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

APPLICABILITY OF LEAN HEALTHCARE IN HEALTH PLAN BILLING: A SYSTEMATIC REVIEW

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-11

Lílian Lima Silva¹

Eldelita Aguida Porfírio Franco²

Rhubens Ewald Moura Ribeiro³

Antônio de Lisboa Lopes de Araújo⁴

Amélia Acácia de Miranda Batista⁵

Gilberto de Araújo Costa⁶

¹ Graduanda do curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

² Doutora em Engenharia de Produção – UNIP. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

³ Mestre em Administração - UFPR. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA / rhubens.ribeiro@gmail.com

⁴ Mestre em Economia – UFC. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁵ Mestra em Engenharia da Eletricidade com ênfase na Ciência da Computação – UFMA. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

⁶ Doutor em Engenharia Biomédica – UNIVBRASIL. Docente do Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA.

RESUMO

O *Lean Healthcare* (LH) é uma abordagem que busca adaptar os princípios da produção enxuta para otimizar processos no setor de saúde, eliminando desperdícios e aumentando a eficiência operacional. No contexto dos planos de saúde no Brasil, onde as operadoras enfrentam desafios como altos custos operacionais e complexidade no processamento de faturamento, a aplicação do LH surge como uma possível solução para melhorar a gestão de custos e a sustentabilidade financeira. Este estudo analisou a aplicabilidade do LH especificamente no faturamento de planos de saúde, explorando como essa metodologia pode contribuir para a eficiência operacional e a redução de desperdícios. A metodologia utilizada foi uma revisão bibliográfica sistemática, com base na estratégia PICO, abrangendo artigos publicados entre 2014 e 2024 em bases de dados como *Scopus*, *SCIELO* e *Google Scholar*. Foram analisados 195 trabalhos, dos quais 15 foram incluídos na revisão final. Os resultados indicaram que o LH pode melhorar a gestão de custos e eficiência no faturamento ao eliminar desperdícios e simplificar fluxos de trabalho, reduzindo erros e acelerando o

processamento de pagamentos. Contudo, identificou-se uma lacuna na capacitação dos profissionais de saúde para aplicar essas ferramentas, além de desafios como resistência à mudança e falta de engajamento da liderança. As considerações finais sugerem que, apesar das dificuldades, a adoção do LH é uma estratégia promissora para aumentar a eficiência financeira das operadoras de planos de saúde e promover maior satisfação de prestadores de serviços e pacientes, ressaltando a necessidade de mais estudos e capacitação para expandir sua aplicabilidade.

Palavras-chave: Eficiência Operacional. Gestão de Custos. Satisfação do Paciente.

ABSTRACT

Lean Healthcare (LH) is an approach that seeks to adapt the principles of lean manufacturing to optimize processes in the healthcare sector, eliminating waste and increasing operational efficiency. In the context of health plans in Brazil, where operators face challenges such as high operating costs and complexity in billing processing,

the application of LH emerges as a possible solution to improve cost management and financial sustainability. This study analyzed the applicability of LH specifically in health plan billing, exploring how this methodology can contribute to operational efficiency and waste reduction. The methodology used was a systematic literature review, based on the PICO strategy, covering articles published between 2014 and 2024 in databases such as Scopus, SCIELO and Google Scholar. A total of 195 papers were analyzed, of which 15 were included in the final review. The results indicated that LH can improve cost management and billing efficiency by eliminating waste and simplifying workflows, reducing errors

and accelerating payment processing. However, a gap was identified in the training of health professionals to apply these tools, in addition to challenges such as resistance to change and lack of leadership engagement. The final considerations suggest that, despite the difficulties, the adoption of LH is a promising strategy to increase the financial efficiency of health plan operators and promote greater satisfaction of service providers and patients, highlighting the need for further studies and training to expand its applicability.

Keywords: Operational Efficiency. Cost Management. Patient Satisfaction.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o segmento de planos privados de assistência à saúde se desenvolveu sob forte indução do Estado, inicialmente em um contexto de baixa regulação. A partir da Lei nº 9.656 de 1998, que regulamentou os planos de saúde e sua comercialização, e da criação da Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS) em 2000, houve uma mudança significativa para um ambiente de maior normatização, controle e fiscalização. A ANS assumiu o papel de regular as relações entre clientes, prestadoras de serviços e operadoras, impactando também, ainda que indiretamente, os prestadores de serviços (Lima *et al.*, 2014).

Apesar dessa regulamentação, as operadoras de planos de saúde no cenário nacional enfrentam desafios financeiros significativos, principalmente devido aos altos custos operacionais e à elevada carga tributária, conforme descrito por Costa e Costa (2023). Esses fatores dificultam o repasse de custos aos consumidores, o que contribui para a inadimplência e falência de muitas empresas do setor, sendo necessário reaver as políticas tributárias dos produtos e serviços para garantir a sustentabilidade das operadoras.

O setor de saúde é caracterizado por uma constante evolução, especialmente quando comparado a outras áreas do mercado financeiro. O maior acesso à informação e a conscientização sobre cuidados com a saúde resultaram em um aumento significativo de recursos aplicados no setor. Essa realidade exige que as organizações de saúde adotem soluções práticas de gestão para oferecer um atendimento de qualidade, mantendo a efetividade dos custos (Potter; Lee, 2013).

Nesse contexto, a aplicação da filosofia *Lean* em serviços de saúde, conhecida como *Lean Healthcare* (LH), surge como uma alternativa para a melhoria da eficiência operacional.

O LH visa eliminar desperdícios e etapas desnecessárias no cuidado ao paciente, aumentando a produtividade e a capacidade de atendimento (Brito, 2018). Embora seja amplamente aplicada em processos clínicos, essa abordagem também tem um grande potencial para otimizar processos administrativos críticos, como o faturamento, reduzindo custos e melhorando a precisão e velocidade no processamento de pagamentos.

A aplicação do LH no faturamento das operadoras de planos de saúde pode trazer benefícios significativos. Ao eliminar desperdícios, automatizar tarefas repetitivas e simplificar fluxos de trabalho, as operadoras podem reduzir custos administrativos, minimizar erros de cobrança e agilizar o tempo de processamento e recebimento de pagamentos. Isso não apenas melhora a eficiência financeira das empresas, mas também contribui para sua sustentabilidade a longo prazo, permitindo que elas superem os desafios impostos pela alta carga tributária e pelas regulamentações rigorosas (Graban, 2016).

Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar a aplicabilidade da abordagem LH no faturamento dos planos de saúde, explorando como a implementação de suas ferramentas e princípios pode contribuir para a eficiência operacional, a redução de desperdícios e a melhoria da satisfação dos prestadores de serviços e pacientes. Dessa forma, busca-se fornecer uma visão abrangente e fundamentada sobre o impacto do LH nesse contexto específico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. LEAN HEALTHCARE: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES NO SETOR DE SAÚDE

O *Lean* pode ser compreendido tanto como um conjunto de ferramentas quanto como um sistema de gestão, originado no *Toyota Production System* (TPS) da indústria automotiva japonesa, também conhecido como Produção Enxuta ou *Lean Manufacturing* (Graban, 2013). Esse sistema combina conceitos, princípios e ferramentas com o objetivo de maximizar o valor para os consumidores, aqui interpretados como os usuários do sistema de saúde, enquanto minimiza desperdícios. O *Lean* busca utilizar o mínimo de recursos e aproveitar plenamente o conhecimento e as habilidades das pessoas envolvidas nos processos (Faveri, 2013; Graban, 2013; Ribeiro; Abreu, 2020).

As operações hospitalares podem ser divididas em dois tipos principais: processos clínicos e processos administrativos. Os processos clínicos estão diretamente ligados ao paciente e envolvem observação, raciocínio clínico e execução de procedimentos, que

dependem do conhecimento dos profissionais de saúde e da evolução clínica de cada paciente. Já os processos administrativos servem de apoio aos assistenciais e incluem atividades como pedidos médicos, agendamento de consultas e negociações com operadoras de saúde (Rojas *et al.*, 2016).

A filosofia Lean utiliza ferramentas, métodos e sistemas para eliminar desperdícios e atividades que não agregam valor. Segundo os autores Mazzocato *et al.* (2010), Holden (2011) e Ribeiro e Abreu (2020) entre as ferramentas mais comuns estão:

- **Mapa de Fluxo de Valor (MFV):** Utilizado para diferenciar as etapas de um processo que agregam valor das que não agregam, mapeando visualmente o fluxo de pessoas, materiais e informações.
- **Gestão Visual:** Expõe atividades e métricas do sistema de produção, facilitando a resolução de problemas de forma ágil, e é frequentemente usada em reuniões de coordenação.
- **5S:** Técnica japonesa de organização que promove um ambiente mais limpo e produtivo.
- **Kanban:** Ferramenta de sinalização que auxilia no gerenciamento de produção e estoques.
- **Poka-Yoke:** Sistema que previne erros e falhas por meio de mecanismos de detecção de defeitos.
- **Diagrama Espaguete:** Ferramenta que estuda as movimentações de pessoas, materiais e informações, facilitando a otimização do layout.

2.1.1 Aplicações do Lean Healthcare no Setor de Saúde

A aplicação do *Lean Healthcare* no setor de saúde visa otimizar processos, reduzir desperdícios e maximizar o valor entregue aos pacientes e demais usuários. Embora tenha origem na indústria automotiva, o *Lean* provou ser uma abordagem eficaz na reestruturação de operações hospitalares, melhorando a qualidade do atendimento e a eficiência operacional. Suas aplicações são amplas, cobrindo desde processos clínicos até administrativos, e impactando positivamente tanto a experiência do paciente quanto os custos das instituições de saúde.

2.1.1.1. Melhoria dos Processos de Atendimento ao Paciente

Uma das principais áreas de aplicação do *Lean Healthcare* é a melhoria no fluxo de atendimento ao paciente. Hospitais e clínicas enfrentam desafios como longos tempos de espera, fluxos desorganizados e superlotação, especialmente em setores como emergências. Ferramentas *Lean*, como o Kaizen e o Mapa de Fluxo de Valor (MFV), são usadas para mapear e reorganizar esses fluxos, identificando gargalos e desperdícios. Ao eliminar etapas desnecessárias e simplificar o percurso do paciente, o *Lean* pode reduzir o tempo de espera, otimizar a alocação de recursos e aumentar a capacidade de atendimento.

Um exemplo prático dessa aplicação é a reestruturação de unidades de emergência hospitalar. Ao aplicar o *Lean*, muitos hospitais conseguem redistribuir os atendimentos de acordo com a gravidade dos casos, acelerando o tratamento de casos mais críticos e reduzindo a espera de casos menos graves (Holden, 2011). Isso não apenas melhora a eficiência, mas também aumenta a satisfação dos pacientes e reduz o estresse para os profissionais de saúde.

2.1.1.2. Otimização de Processos Administrativos e de Faturamento

Outra aplicação importante do *Lean* no setor de saúde é a otimização de processos administrativos, como o faturamento e a gestão de estoques. O setor hospitalar enfrenta altos custos operacionais, agravados por processos burocráticos complexos e ineficientes, que podem resultar em perdas financeiras, como as glosas. O *Lean* ajuda a padronizar esses processos, eliminando etapas redundantes e automatizando atividades repetitivas, como a verificação de faturas e o controle de estoques.

Ferramentas como o Kanban são amplamente utilizadas para melhorar o gerenciamento de estoques hospitalares, garantindo que os materiais e medicamentos estejam sempre disponíveis em quantidade adequada, sem excessos ou faltas, o que evita perdas por vencimento ou falta de suprimentos críticos (Holden, 2011). No faturamento, a aplicação do *Lean* permite reduzir erros, como cobranças duplicadas ou incorretas, além de acelerar o processamento de pagamentos, aumentando a eficiência financeira das instituições de saúde (Guimarães Júnior *et al.*, 2022)

2.1.1.3. Redução de Erros e Aumento da Segurança do Paciente

A segurança do paciente é uma preocupação central no setor de saúde, e o *Lean Healthcare* oferece ferramentas para reduzir erros médicos e aumentar a confiabilidade dos processos clínicos. A padronização de procedimentos é uma das estratégias *Lean* para minimizar a variabilidade e garantir que os cuidados sejam prestados de maneira consistente e segura. Isso é particularmente importante em áreas críticas, como centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva.

O Poka-Yoke, uma técnica *Lean* para prevenção de erros, é um exemplo de ferramenta que pode ser adaptada ao setor de saúde para evitar falhas nos processos clínicos, como a administração de medicamentos incorretos ou a realização de cirurgias em locais errados (Holden, 2011; Kunzler; Strassburger, 2023). Ao integrar o *Lean* com tecnologias de monitoramento e controle, hospitais podem melhorar significativamente a segurança dos pacientes e reduzir a incidência de erros que podem comprometer a saúde e o bem-estar dos usuários.

2.1.1.4. Gestão de Estoques e Recursos

No setor de saúde, a má gestão de estoques pode gerar desperdícios significativos, como a perda de medicamentos ou materiais hospitalares devido ao vencimento, ou a falta de suprimentos essenciais no momento de sua necessidade. O *Lean*, por meio do uso de ferramentas como o Kanban e o Diagrama Espaguete, ajuda a ajustar a oferta de acordo com a demanda, evitando tanto excessos quanto faltas.

Com a implementação dessas ferramentas, os hospitais podem não apenas economizar recursos, mas também garantir que os pacientes recebam o tratamento adequado no momento certo, sem interrupções causadas pela indisponibilidade de materiais críticos. Isso também otimiza a logística interna, melhorando a circulação de profissionais, equipamentos e pacientes dentro do ambiente hospitalar (Mazzocato *et al.*, 2010).

2.1.1.5. Aperfeiçoamento da Experiência do Paciente

A aplicação do *Lean Healthcare* não se limita a aspectos operacionais, mas também impacta diretamente a experiência do paciente. A agilidade nos processos, o atendimento mais rápido e eficiente, e a redução de erros criam um ambiente de cuidado mais seguro e

acolhedor. Além disso, o *Lean* promove a transparência nos processos e a eliminação de cobranças indevidas, o que aumenta a confiança dos pacientes nas instituições de saúde.

O exemplo do *ThedaCare*, nos Estados Unidos, ilustra os benefícios da aplicação do *Lean* para melhorar a experiência do paciente. Ao aplicar os princípios do *Lean*, o sistema de saúde conseguiu reduzir significativamente os custos operacionais e melhorar a satisfação dos pacientes, resultando em maior qualidade e segurança no atendimento (Pinto; Battaglia, 2014).

2.2. DESAFIOS FINANCEIROS E OPERACIONAIS DAS OPERADORAS DE PLANOS DE SAÚDE NO BRASIL

No Brasil, o sistema de saúde é composto por três subsetores: público, privado e saúde suplementar. O subsetor suplementar inclui operadoras de planos de saúde (OPS) e apólices de seguro, interligadas tanto com os setores públicos quanto privados (Paim *et al.*, 2011). A má gestão dos processos pode gerar perdas financeiras significativas para as instituições de saúde, especialmente quando há problemas nos ciclos de receita. Isso pode ocorrer por fatores como glosas ou gargalos no processo de faturamento, o que impacta negativamente o lucro (Mazzocato *et al.*, 2010; Souza, 2023).

No ambiente hospitalar, os desperdícios estão entre os maiores desafios. Taiichi Ohno, o criador do TPS, identificou sete categorias de desperdícios, adaptadas ao setor de saúde, como superprodução (procedimentos desnecessários), estoque excessivo (medicamentos vencidos), transporte excessivo (movimentação desnecessária de pacientes e equipamentos), movimentação excessiva (fluxo desorganizado de pessoal e pacientes), espera (longos tempos em filas e exames), processamento excessivo (retrabalhos e inspeções) e defeitos (erros de diagnóstico e medicamentos incorretos) (Zattar *et al.*, 2017; Guimarães, 2018).

2.3. IMPACTO DO LEAN HEALTHCARE NA EFICIÊNCIA DO FATURAMENTO E GESTÃO DE CUSTOS

Nos serviços de saúde, a qualidade do atendimento e a gestão financeira eficiente são fundamentais para a sustentabilidade. A aplicação do *Lean* possibilita a melhoria contínua dos processos hospitalares, reduzindo perdas e otimizando o faturamento (Bonacim; Araujo, 2010). O *Lean* permite que as instituições eliminem desperdícios e reinvestam os recursos economizados em melhorias para os colaboradores e infraestrutura hospitalar (Régis; Gohr; Santos, 2018).

Para garantir o funcionamento eficaz, os hospitais precisam de sistemas organizacionais bem administrados. O *Lean Healthcare* pode ser aplicado em um contexto regulado, como hospitais públicos, que devem equilibrar a satisfação de múltiplos stakeholders (Pinton *et al.*, 2017). Pequenas iniciativas Lean podem gerar mudanças significativas, como a redução de filas, diminuição de erros e custos, e maior agilidade nos processos.

Um exemplo de sucesso é o sistema de saúde americano *ThedaCare*, que economizou mais de 27 milhões de dólares com a implementação do *Lean*, além de alcançar 100% de satisfação dos pacientes (Pinto; Battaglia, 2014).

Contudo, Poksinska (2010) destaca que a implementação bem-sucedida do Lean na saúde depende da adaptação às particularidades do setor e do envolvimento de toda a equipe nos processos decisórios. Embora o *Lean* tenha grande potencial para melhorar a eficiência hospitalar, é necessária uma adaptação cuidadosa para o contexto específico de cada instituição de saúde (Poksinska, 2010).

Estudos sugerem que a falta de adaptação adequada do *Lean Manufacturing* ao setor de saúde é uma das principais causas de sua baixa efetivação. No Brasil, os hospitais-escola estão em fases iniciais de implementação do *Lean Healthcare*, mas os profissionais já reconhecem o potencial dessa filosofia para melhorar processos ineficazes (Poksinska, 2010).

Para trabalhos futuros, é recomendada a utilização de amostras mais representativas para aprofundar as pesquisas sobre o *Lean Healthcare* no Brasil e suas adaptações às operações de saúde.

3. METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica do tipo sistemática sobre a Aplicabilidade do Lean healthcare no faturamento de planos de saúde. A revisão bibliográfica é um tipo de pesquisa que aborda um objetivo comum, onde são utilizados os estudos mais relevantes sobre um tema proposto, trabalhando principalmente com conceitos, ideologias e processos de comunicação humana, facilitando a interação de variáveis e otimizando a compreensão de processos dinâmicos (Minayo, 2014; Santos, 2012).

Para a construção da pergunta de pesquisa utilizou-se a estratégia PICO. Essa sigla representa um acrônimo para os elementos População, Intervenção, Comparação e “*Outcomes*” (resultado), esses quatro elementos são fundamentais para uma busca

bibliográfica assertiva (Santos; Pimenta; Nobre, 2007). Assim, nesta pesquisa os elementos foram definidos como sendo, P: "planos de saúde", I: "*Lean Healthcare*", C: "faturamento tradicional" (ou sem comparação explícita) e, O (Resultado): "eficiência", "redução de erros".

Como procedimento metodológico, realizou-se a busca nas seguintes bases de dados: *Scopus*, *Scientific Electronic Library (SciELO)* e *Google Scholar*, considerando somente os estudos publicados no período de 2014 a 2024.

Para isso, foram utilizados os descritores "*health plans*", "*health operators*", "*lean healthcare*", "*lean management*", "*billing*", "*collection*", "*efficiency*", "*satisfaction*" e "*error reduction*" com os operadores booleanos AND e OR para refinar a busca. Os termos utilizados foram pesquisados nas línguas portuguesa e inglesa.

Quanto aos critérios de inclusão, adotou-se: i) trabalhos publicados nos idiomas inglês e português; ii) estudos completos e disponíveis na íntegra; iii) abordagem do tema central da pesquisa. Como critérios de exclusão foram excluídos trabalhos incompletos e aqueles que não abordavam o objeto de estudo da pesquisa.

Seguindo este procedimento metodológico, os trabalhos identificados seguiram para a análise de títulos e resumos e, posteriormente, fez-se a leitura na íntegra dos artigos. As informações dos artigos incluídos neste estudo foram então tabuladas de acordo com os autores, o ano de publicação, títulos e principais conclusões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos descritores definidos, foram encontrados 195 trabalhos científicos, dentre os quais foram analisados e excluídos com base nos critérios de exclusão. Assim, 64 trabalhos foram considerados para a leitura seletiva e analítica, sendo finalmente 15 estudos incluídos nesta revisão bibliográfica. Os títulos dos trabalhos incluídos na análise e seus respectivos autores estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Autores, ano de publicação e título dos estudos incluídos na análise.

Autor e ano de publicação	Título
Santos, 2020	Análise de Glosas – Gestão de processos a partir dos conceitos do modelo <i>lean healthcare</i> em um hospital da rede privada de Porto Alegre
Oliveira, 2014	Proposição para implantação da abordagem <i>Lean Healthcare</i> no ambiente de saúde
Helal, 2017	Fatores críticos de sucesso para a sustentabilidade de <i>lean healthcare</i> : um estudo de caso

Autor e ano de publicação	Título
Silva, 2018	<i>Lean Healthcare: gestão de qualidade em centro cirúrgico</i>
Goulart <i>et al.</i> , 2022	Improvements through Lean Thinking: a case study in a health insurance company
Tiso; Pozzan; Verbano, 2022	Health lean management implementation in local health networks: A systematic literature review
Brançalion; Lima, 2021	Process-based management aimed at improving health care and financial results
Reponen <i>et al.</i> , 2023	Expert-Identified practices for achieving measurable performance improvements with lean implementation
Hagood, 2017	The relationship of lean implementation and patient satisfaction (hcahps) scores in acute care hospitals
Veres <i>et al.</i> , 2024	Lean Management implementation in medical environment and training importance
Crema; Verbano, 2015	Mapping Lean experiences and emerging connections with clinical risk management in Italian context
Ortega, 2021	Lean Management implementation in hospital emergency services across brazil's unified health system: A qualitative analysis of project "Lean nas Emergências"
Grover; Caulfield; Roehrich, 2014	Frugal innovation in healthcare and its applicability to developed markets
Cacciatore <i>et al.</i> , 2018	Il "Lean thinking" in ambito ospedaliero - Risultati di una revisione sistematica di letteratura
Daniels; Ritter, 2018	Identifying the elusive cost management tools to allow healthcare reform

Fonte: Autoria própria.

Com base nos estudos incluídos nesta análise, a discussão deste estudo foi organizada de forma que inicialmente seja respondido o objetivo geral proposto e posteriormente, abordou-se outros aspectos relevantes da abordagem *Lean Healthcare* nos planos de saúde que vai além do faturamento.

4.1. LEAN HEALTHCARE NO FATURAMENTO NOS PLANOS DE SAÚDE

Especificamente sobre o LH em relação ao faturamento nos planos de saúde esta revisão sistemática destaca os aspectos relacionados à uma gestão de custos eficiente. Segundo Santos (2020), uma gestão eficiente é essencial para garantir a qualidade da geração de receita em instituições de saúde, o contrário pode resultar em perda de receita e aumento de custos, o que compromete a saúde financeiras dessas organizações. A complexidade dos processos que estão envolvidos nas contas hospitalares pode gerar gargalos que afetam o faturamento e a lucratividade dos hospitais, além disso, outro importante problema neste

setor do hospital é a geração de glosas que também pode se configurar como perdas financeiras significativas. Assim, a identificação e a mitigação dos fatores que interferem nos processos de faturamento torna-se fundamental para evitar prejuízos e garantir uma operação mais lucrativa.

No processo de otimização das operações de faturamento, metodologias como *Lean Healthcare* se apresenta como uma candidata promissora para fornecer uma visão mais clara dos processos de faturamento, identificando as áreas que precisam de melhorias e os desperdícios que podem ser eliminados. Para melhoria do desempenho financeiro das instituições de saúde é necessário que seja simplificada a administração e ainda, que sejam integrados os sistemas clínicos e financeiros para melhorar tanto a experiência do cliente quanto para otimizar os processos (Daniels; Ritter, 2018). A implementação de tecnologias de informação pode facilitar o processo de faturamento, economizando tempo e recursos.

Apesar desses aspectos abordados sobre o LH no faturamento, a literatura aponta a necessidade de mais estudos voltados para esta temática pois a maioria dos trabalhos voltados para a implementação de inovações na eficiência no faturamento é concentrada em instituições acadêmicas, o que não favorece a otimização do faturamento em instituições de saúde. Além disso, outra lacuna evidente na literatura diz respeito a educação e capacitação dos profissionais de saúde sobre as ferramentas de gerenciamento de custos e LH, o que limita a eficácia dos processos de faturamento e a gestão financeira nas organizações.

Os estudos sobre a abordagem LH no faturamento de planos de saúde são escassos na literatura, entretanto, a aplicação do LH em outros aspectos de instituições de saúde é mais recorrente. Deste modo, a discussão deste trabalho foi dividida nos principais aspectos mencionados na literatura sobre a aplicabilidade do LH na saúde.

4.2. MELHORIA NA EFICIÊNCIA OPERACIONAL

Sobre o impacto do LH na eficiência operacional das instituições de saúde, esta ferramenta possui grande potencial para otimizar a prestação desses serviços. Conforme demonstrado por Cacciatore *et al.* (2018), a implementação dessa metodologia levou ao redesenho de processos, o que melhorou não apenas as atividades clínicas, mas também a satisfação dos pacientes e da equipe, além de impactar positivamente os resultados financeiros em alguns casos. Este autor aponta ainda que o sucesso da implementação do

Lean nas instituições de saúde depende da adesão aos seus princípios, que varia de acordo com o cenário.

No contexto das emergências, o *Lean* foi considerado amplamente bem-sucedido, contribuindo para a qualidade dos serviços e a eficiência organizacional (Ortega, 2021). A aplicação de ferramentas *Lean* também resultou na integração de cuidados, melhorando a continuidade do atendimento e reduzindo ineficiências e custos (Tiso; Pozzan; Verbano, 2022).

Por fim, Veres *et al.* (2024) discutem sobre como o *Lean Management* pode ser uma estratégia eficaz para melhorar o desempenho e reduzir perdas no setor médico, reduzindo o tempo de espera dos pacientes, otimizando os recursos e aumentando a segurança dos serviços.

4.3. REDUÇÃO DE DESPÉRDÍCIOS

Sobre sua aplicabilidade na redução de desperdícios, a metodologia *Lean* se destaca por possuir uma abordagem centrada na identificação e eliminação de desperdícios nos processos de saúde. O estudo de Goulart *et al.* (2022) realizado em dois departamentos de uma operadora de saúde revelou a presença de desperdícios recorrentes, como demora no processamento e, conseqüentemente, longas esperas. Esses problemas indicam retrabalho e atrasos na execução das atividades, comprometendo a eficiência do atendimento. A filosofia *Lean* proporciona uma compreensão mais clara dos processos hospitalares, facilitando a otimização do fluxo de trabalho e a eliminação de desperdícios (Silva, 2018). Para enfrentar desafios dessa natureza sugere-se que as melhorias sejam realizadas através da digitalização e automatização dos processos, que otimizam economizam recursos e também aumentam a eficiência operacional (Goulart *et al.*, 2022).

No âmbito da gestão LH, Tiso, Pozzan e Verbano (2022) exploram sua aplicação em caminhos crônicos e territoriais, enfatizando a necessidade de expandir essa abordagem para outras áreas do sistema de saúde, além dos hospitais. Os autores propuseram uma estrutura teórica que apoia a análise da implementação do *Lean* e apontam lacunas, como a ausência de objetivos claros e a carência de ferramentas adequadas para a prática de integração de cuidados.

Por sua vez, a pesquisa de Silva (2018) confirma que a filosofia *Lean* é totalmente aplicável aos serviços de saúde, destacando suas ferramentas como essenciais para identificar

e eliminar desperdícios. O Mapa de Fluxo de Valor, por exemplo, é um recurso valioso que ajuda a entender os processos e a propor melhorias significativas. Além disso, o estudo ressalta a importância da participação ativa da equipe de enfermagem na implementação eficaz do *Lean*, já que esses profissionais estão na linha de frente do cuidado ao paciente e podem contribuir para garantir tanto a segurança do paciente quanto a eficiência organizacional.

4.4. SATISFAÇÃO DOS PRESTADORES DE SERVIÇOS E PACIENTES

O impacto do LH na satisfação dos prestadores de serviços é significativo. A agilidade nos processos de faturamento e a redução de erros têm contribuído para aumentar a confiança entre as operadoras de saúde e os prestadores (Hagood, 2017). Para os pacientes, o *Lean* também oferece uma experiência mais satisfatória, ajudando a evitar cobranças indevidas e promovendo maior transparência nos serviços prestados (Silva, 2018). Pesquisas sobre a satisfação dos pacientes mostram que a implementação do *Lean* teve um efeito positivo em sua experiência geral, embora a atuação de consultores *Lean* externos tenha sido identificada como um fator importante para alcançar esses resultados (Hagood, 2017; Veres et al., 2024).

Além disso, o trabalho de Brancalion e Lima (2022) reflete sobre práticas de gestão que podem melhorar tanto os resultados assistenciais quanto os gerenciais nos hospitais. Eles destacam a importância de uma gestão baseada em processos, mencionando o método *Lean Six Sigma* como uma abordagem eficaz para identificar e eliminar desperdícios. A pesquisa enfatiza a necessidade de uma abordagem contínua para atingir os resultados desejados, integrando a gestão de custos com a saúde baseada em valor. Essas práticas são reconhecidas mundialmente por aumentar a eficiência e reduzir desperdícios.

O estudo de Hagood (2017) investiga especificamente a relação entre a implementação do *Lean* e a satisfação dos pacientes em hospitais de cuidados agudos. Os resultados indicam que, embora o *Lean* tenha sido implementado, outros fatores, como a utilização de consultores externos, tiveram um impacto considerável nas pontuações de satisfação. Assim, o estudo sugere que mais pesquisas são necessárias para entender a eficácia do *Lean* em diferentes contextos hospitalares e como ele pode ser otimizado para melhorar ainda mais a experiência dos pacientes.

4.5. DESAFIOS E BARREIRAS NA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar dos muitos benefícios que o LH pode trazer, sua implementação enfrenta uma série de desafios significativos. Um dos principais obstáculos é a falta de conhecimento e entendimento dos colaboradores sobre a filosofia *Lean*, o que torna necessário um treinamento adicional para garantir a aplicação correta das ferramentas (Goulart *et al.*, 2022). Além disso, a ausência de indicadores adequados dificulta a mensuração dos resultados e a continuidade das melhorias, o que pode comprometer o progresso a longo prazo (Goulart *et al.*, 2022).

Outro desafio importante é a resistência à mudança. Para que as práticas *Lean* se sustentem, é essencial que haja um forte engajamento da liderança, que desempenha um papel crucial na motivação e na implementação das mudanças necessárias (Reponen *et al.*, 2023). A complexidade administrativa e os desafios do sistema de saúde brasileiro também são barreiras mencionadas, que limitam a eficácia do *Lean* nas instituições (Ortega, 2021; Silva, 2018).

O estudo de Helal (2017) aprofunda a análise ao discutir fatores críticos para o sucesso na implementação de melhorias *Lean* em um hospital. Ele conclui que, embora aspectos como alinhamento estratégico, cultura organizacional, envolvimento dos colaboradores e gestão de projetos sejam relevantes, nem sempre se alinham com a literatura existente. Surpreendentemente, o conhecimento da estratégia pelos colaboradores não se mostrou crucial para a sustentabilidade das melhorias, indicando que estas podem persistir mesmo sem o envolvimento completo de todos. A autora propõe que a resolução de problemas não precisa necessariamente ocorrer por consenso, desde que se considere as relações das pessoas afetadas pela mudança.

Por sua vez, Reponen *et al.* (2023) apresentam dados qualitativos que revelam três categorias de métricas para medir o impacto do *Lean*: medidas institucionais, adaptadas e em nível populacional. O estudo destaca que o engajamento da liderança e o foco organizacional são fundamentais para o sucesso das melhorias de desempenho. A falta desses fatores é identificada como uma barreira significativa na implementação do *Lean*.

Além disso, o artigo de Daniels e Ritter (2018) discute a dificuldade de determinar custos no sistema de saúde e como isso afeta a gestão financeira dos hospitais. Os autores sugerem que a simplificação administrativa e a integração de sistemas clínicos e financeiros podem ser soluções eficazes para melhorar a eficiência. No entanto, eles também ressaltam

que, apesar da disponibilidade de ferramentas de gerenciamento de custos, a adoção dessas práticas ainda não é universal no setor, o que representa mais um desafio a ser enfrentado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta revisão forneceu uma visão abrangente sobre a aplicabilidade do *Lean Healthcare* (LH) no faturamento dos planos de saúde, destacando sua relevância na promoção de uma gestão de custos eficiente. A análise sistemática dos estudos incluídos revelou que a implementação do *Lean* pode ser um fator decisivo para melhorar o desempenho financeiro das instituições de saúde. A complexidade dos processos relacionados ao faturamento, juntamente com a incidência de glosas, destaca a necessidade urgente de identificar e mitigar os fatores que impactam esses processos. Nesse sentido, o LH se apresenta como uma metodologia promissora, capaz de otimizar as operações de faturamento ao proporcionar uma visão clara das áreas que necessitam de melhorias e dos desperdícios que podem ser eliminados.

A literatura também sugere que, apesar dos avanços, a maioria dos estudos sobre a implementação do *Lean* está concentrada em instituições acadêmicas, o que limita a aplicabilidade das inovações em outras instituições de saúde. Essa lacuna destaca a necessidade de mais pesquisas focadas na capacitação dos profissionais de saúde em ferramentas de gerenciamento de custos e na filosofia *Lean*, de modo a potencializar a eficácia das práticas de faturamento e gestão financeira.

No que se refere à melhoria na eficiência operacional, os estudos demonstraram que o LH não apenas contribui para a otimização dos serviços, mas também para a satisfação dos prestadores de serviços e pacientes. A redução do tempo de espera e a melhoria na qualidade do atendimento são evidências do impacto positivo dessa metodologia. Contudo, a resistência à mudança e a falta de engajamento da liderança são desafios que podem comprometer a implementação e a sustentabilidade das práticas *Lean*.

Por fim, este estudo ressalta que, embora o LH ofereça um potencial significativo para transformar o setor de saúde, sua implementação não é isenta de desafios. É essencial que as instituições de saúde adotem uma abordagem contínua, focada em capacitação e adaptação, a fim de maximizar os benefícios dessa metodologia. Com a crescente demanda por serviços de saúde mais eficientes e eficazes, a adoção do LH se torna não apenas uma oportunidade,

mas uma necessidade para garantir a sustentabilidade e a qualidade dos serviços de saúde no futuro.

Diante dos resultados promissores observados na aplicação do LH e da crescente adoção da verticalização em instituições de saúde, sugere-se que futuros estudos explorem mais profundamente a sinergia entre essas duas abordagens. De modo a investigar como a verticalização potencializa a implementação do *Lean* em diferentes contextos, desde grandes redes hospitalares até clínicas de menor porte, avaliando os impactos diretos na eficiência operacional e financeira. Além disso, sugere-se que futuros estudos sejam direcionados a elucidar sobre como a integração vertical afeta a gestão de custos e a redução de glosas entre organizações que adotam o *Lean* com e sem uma estratégia de verticalização. Por fim, estudos qualitativos focados na percepção de gestores e profissionais de saúde sobre as barreiras e facilitadores dessa integração, bem como na capacitação necessária para maximizar seus benefícios, são cruciais para guiar a adoção dessas práticas em um cenário mais amplo.

REFERÊNCIAS

- BRANCALION, F. N. M.; LIMA, A. F. C. Process-based Management aimed at improving health care and financial results. **Revista Da Escola De Enfermagem Da USP**, 56, e20210333, 2022. <https://doi.org/10.1590/1980-220X-REEUSP-2021-0333en>
- BRITO, M. P. de. **Aplicação de técnicas de gestão avançada *Lean Helthcare* para otimizar o fluxo de pacientes do pronto-socorro de um hospital universitário público de Belo Horizonte**. 2018. Dissertação (Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais). Belo Horizonte, MG, 2018.
- CACCIATORE, P.; CALABRÒ, G. E.; MOGINI, V.; MORACA, E.; MAKISHTI, O.; CAMPANELLA, P.; RICCIARDI, W.; SPECCHIA, M. L. Il “Lean thinking” in ambito ospedaliero - Risultati di una revisione sistematica di letteratura. **Igiene e Sanità Pubblica - Parte Scientifica e Pratica**, v. 74, p. 501-524, 2018.
- COSTA, N.; COSTA, R. A. T. Os Altos Custos da Saúde Privada no Brasil e as Consequências para as Operadoras de Planos de Saúde. **Revista Portuguesa De Ciências E Saúde**, v. 4, n. 02, p. 90–113, 2023. Obtido de <https://revistas.editoraenterprising.net/index.php/rpcs/article/view/711>
- CREMA, M.; VERBANO, C. Mapping lean experiences and emerging connections with clinical risk management in Italian context. **Business Process Management Journal**, v. 21, n. 5, p. 1091-1116, 2015. <https://doi-org.ez17.periodicos.capes.gov.br/10.1108/BPMJ-05-2014-0042>

- DANIELS, D. J.; RITTER, D. Identifying the Elusive Cost Management Tools to Allow Healthcare Reform. **Southern Journal of Business & Ethics**, v. 10, p. 18-27, 2018.
- GOULART, B.; BELOTTO, T.; PEREIRA, C. R.; LEITE, L. R.; BOND, D. Improvements through Lean Thinking: a case study in a health insurance company. **Journal of Lean Systems**, v. 7, n. 4, p. 01-2, 2022.
- GRABAN, M. **Lean Hospitals, Improving Quality, Patient Safety, and Employee Engagement**. CRC Press, Boca Raton, FL, 2016.
- GROVER, A.; CAULFIELD, P.; ROEHRICH, K. J. Frugal innovation in healthcare and its applicability to developed markets. **British Academy of Management**, 2014.
- GUIMARÃES JÚNIOR, J. C.; MANSO, G. J. de M. C.; SOUZA, A. R. de; PEREIRA, A. L.; VIEIRA, F. B.; SILVA, F.A. B. da; NASCIMENTO NETO, J. B.; D’ALESSANDRO, B. S.; SANTOS, E. A. dos. Conhecendo o Lean Healthcaree suas principais características: proposição de um modelo conceitual a partir da literatura científica. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, e121111032699, 2022.
- HELAL, D. **Fatores críticos de sucesso para a sustentabilidade de lean healthcare: um estudo de caso**. 2017. 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2017.
- KUNZLER, C. C. C.; STRASSBURGER, N. C. *Lean Healthcare* na Gestão Hospitalar. **Revista Pleiade**, v. 17, n. 41, 2023. DOI: 10.32915/pleiade.v17i41.957
- LIMA, S. M. L.; PORTELA, M. C.; UGÁ, M. A. D.; VASCONCELLOS, M. T. L. de. Regulação dos serviços de radioterapia e quimioterapia pelas operadoras de planos de saúde no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 1, p. 195–204, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014191.1700>
- MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento, pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, p. 407, 2014.
- OLIVEIRA, P. A. C. **Proposição Para Implantação Da Abordagem Lean Healthcare No Ambiente De Saúde**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção, Universidade de São Francisco. Campinas/SP, 2014. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/2624.pdf>. Acesso em: 30 de set. 2024.
- ORTEGA, C. **Lean Management Implementation In Hospital Emergency Services Across Brazil’s Unified Health System: A Qualitative Analysis of Project “Lean nas Emergências”**. 2021. 99f. Tese (Doutorado em Ciências com Honras em Gestão e Política de Saúde) - Universidade de Georgetown, Washington, D.C., 2021.
- PORTER, M. E.; LEE, T. H. The strategy that will fix health care. **Harvard Business Review**, v. 91, n; 10, p. 50-70, 2013.

- REPONEN, E. M. D.; RUNDALL, T. G.; SHORTELL, S. M.; BLODGETT, J. C.; JOKELA, R.; MÄKIÄRVI, M.; TORKKI, P. Expert-Identified Practices for Achieving Measurable Performance Improvements With Lean Implementation. **Quality Management in Health Care**, v. 32, n. 1, p 1-7, 2023. DOI: 10.1097/QMH.0000000000000349
- RIBEIRO, R. E. M.; ABREU, C. R. D. de. **Inovação em sistemas de produção na era da indústria 4.0**. – 1ª Edição. – Teresina: Kindle Direct Publishing, 2020. 164 p. ISBN: 9798651411368. Disponível em: <https://unifsa.com.br/site/obra-resultado-do-pibic-discute-a-inovacao-em-sistemas-de-producao-na-era-da-industria-4-0/>
- SANTOS, C. M. C.; PIMENTA, C. A. M.; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da Pergunta de Pesquisa e Busca de Evidências. **Rev Latino-am Enfermagem**, v. 15, n. 3, 2007.
- SANTOS, V. I. G. **Análise De Glosas – Gestão De Processos A Partir Dos Conceitos Do Modelo Lean Healthcare Em Um Hospital Da Rede Privada De Porto Alegre**. Trabalho de Conclusão de Curso – Administração, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Porto Alegre/RS, 2020. Disponível em: https://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/10818/vanessaiaragodoiosantos_2705_404201_TCC%20final%20-Vanessa%20lara%20Godoi%20dos%20Santos%20-%20publica%C3%A7%C3%A3o-1.pdf?sequence=1.
- SANTOS, V. O que é e como fazer “revisão da literatura” na pesquisa teológica. **Fides Reformata XVII**, n.1, p.89-104, 2012.
- SILVA, T. O. da. **Lean Healthcare: gestão de qualidade em centro cirúrgico**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2018.
- SOUZA, D. C. A Importância da Controladoria Contábil em Operadoras de Planos de Saúde: uma Análise Abrangente. **GETEC**, v. 12, n. 41, p. 110-135, 2023
- TISO, A.; POZZAN, C.; VERBANO, C. Health lean management implementation in local health networks: A systematic literature review. **Operations Research Perspectives**, v. 9, 100256, 2022.
- VERES, C; VERES, M-M.; ANITEI, M.; PISLA, A. Lean Management implementation in medical environment and training importance. **Revista Romana de Economie**, v. 53, p. 78, 2021.

CAPÍTULO XII

PANORAMA DA QUALIDADE DO AR EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS PÚBLICOS DE SAÚDE NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ/RN

OVERVIEW OF AIR QUALITY IN PUBLIC HEALTH CARE ESTABLISHMENTS IN THE MUNICIPALITY OF SANTA CRUZ/RN

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-12

Thiago da Silva André¹

Leyvison Willian da Silva Santos²

Luidgi Emerson de Oliveira Rodrigues³

Bergson Davi Oliveira Confessor⁴

Ghennefer Vívian de Medeiros Batista⁵

Jaélida Raynara Lima Do Nascimento⁶

Hemilly Geovana Mendonça da Silva⁷

¹ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN

^{2,3,4,5,6,7} Estudantes do curso Técnico Integrado de Nível Médio em Refrigeração e Climatização do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN *Campus Santa Cruz*

RESUMO

A qualidade do ar é um tema de grande relevância no contexto mundial atual e tem recebido maior atenção durante e após a pandemia da COVID-19. Nesse sentido, quando se trata de estabelecimentos assistenciais de saúde, essa pauta deve ser discutida, uma vez que existe a possibilidade de contaminação aérea por vírus e bactérias que podem ser encontrados suspensos no ar hospitalar, colocando em risco a saúde de pacientes, profissionais de saúde, trabalhadores e visitantes. Diante disso, o uso de condicionadores de ar tipo Split-System, o qual não realiza a renovação do ar de forma autônoma, a não ser que seja projetado no sistema de climatização, pode acarretar um aumento da transmissão de doenças virais e bacterianas, agentes de infecções hospitalares. Este artigo tem como finalidade realizar um panorama da qualidade do ar sob a perspectiva dos sistemas de climatização utilizados em cinco Unidades Básicas de Saúde (UBS) e no hospital municipal localizados na cidade de Santa Cruz/RN, Brasil, conforme as normas regulamentadoras, NBR 7256 (2022) e a RE N° 09 da ANVISA (2003). A pesquisa envolveu a coleta de dados realizada por meio de entrevistas presenciais com os gestores dos estabelecimentos de saúde, abrangendo toda a

área urbana da cidade. Entre os resultados obtidos, foi observado que nenhuma unidade básica de saúde atendia os pré-requisitos mínimos de qualidade do ar da ABNT NBR 7256 e não executavam o PMOC. Além disso, não existe projeto de climatização e todos os condicionadores de ar instalados são do tipo Split-system.

Palavras-chave: Infecções hospitalares. PMOC. Renovação do ar. Contaminação aérea. Sistema de climatização.

ABSTRACT

Air quality is a topic of great relevance in the current global context and has received greater attention during and after the COVID-19 pandemic. In this sense, when it comes to healthcare establishments, this topic must be discussed, since there is the possibility of airborne contamination by viruses and bacteria that can be found suspended in hospital air, putting the health of patients at risk, healthcare professionals, workers, and visitors. Therefore, the use of Split-System air conditioners, which do not renew the air autonomously, unless it is designed into the air conditioning system, can lead to an increase in the transmission of viral and bacterial diseases, agents of hospital infection. This article

aims to provide an overview of air quality from the perspective of the air conditioning systems used in five Basic Health Units (UBS) and in no municipal hospital located in the city of Santa Cruz/RN, Brazil, in accordance with standards regulations, NBR 7256 (2022) and RE N° 09 of ANVISA (2003). The research involves data collection carried out through face-to-face interviews with managers of health establishments, covering the entire urban area of

the city. Among the results obtained, it was observed that no basic health unit met the minimum air quality prerequisites of ABNT NBR 7256 and did not perform the PMOC. Furthermore, there is no air conditioning project and all air conditioners installed are split-system.

Keywords: Hospital infections. PMOC. Air renewal. Airborne contamination. Air conditioning system.

1. INTRODUÇÃO

Os estabelecimentos assistenciais de saúde, por exemplo, hospitais e unidades básicas de saúde (UBS), são fontes de infecções hospitalares, como meningite viral e pneumonia, as quais são originadas por vírus, como o SARS-COV-2 e por bactérias, como as pseudomonas, que colocam em risco a saúde de pacientes, principalmente imunocomprometidos, profissionais de saúde e visitantes (OPAS, 2017). Sob essa ótica é possível encontrar agentes de doenças virais, como a COVID-19 e Influenza, suspensos no ar, tornando esses ambientes críticos e propícios à contaminação.

Diante do exposto, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a transmissão do SARS-COV-2, vírus da COVID-19, pode ocorrer por contato direto, indireto ou próximo (Faixa de 1 metro), quando uma pessoa infectada libera secreções infecciosas, partículas de saliva e gotículas no ar, que são liberadas a partir do espirro, ao falar e tosse.

Dessa maneira, a contaminação por aerossóis é caracterizada por pequenas partículas (núcleos de gotículas) as quais podem ser encontradas suspensas no ar por um longo período, facilitando o contágio.

Nos hospitais, existem ambientes protetores que são projetados para acomodar pacientes imunocomprometidos, tornando-os menos suscetíveis a infecções (Krinko, 2022). Além disso, esses ambientes abrigam materiais esterilizados que não podem entrar em contato com contaminantes, como vírus e bactérias, os quais têm o potencial de desencadear infecções hospitalares (Collins, 2008).

Nesse sentido, é de suma importância dar maior atenção à Qualidade do Ar Interior (QAI) em ambientes hospitalares, uma vez que é um assunto de saúde pública e envolve toda a sociedade. Diante disso, cabe destacar as normas regulamentadoras: NBR 7256 (2022), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) intitulada “Tratamento de Ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS)” e a Resolução no 9, da Agência Nacional de

Vigilância Sanitária (ANVISA), de 2003, as quais determinam parâmetros a serem utilizados na análise da qualidade do ar em interiores, como a concentração de CO₂, aferição da pressão, umidade relativa, temperatura, velocidade do ar, taxa de renovação do ar, material particulado etc.

Nesse viés, a NBR 7256 (2022) informa que o uso de condicionadores de ar do tipo split-system, em áreas de assistência à saúde, é inadequado, uma vez que esses equipamentos não atendem aos requisitos mínimos de qualidade do ar estabelecidos na norma, dentre os quais se encontra a renovação do ar. Nessa direção, é importante observar que os condicionadores de ar do tipo split- system não realizam a renovação do ar interno de maneira autônoma, a menos que sejam especificamente incluídos nos projetos de climatização (André, 2020). Logo, o ar, em um ambiente instalado com split, tende a ficar recirculando, contribuindo para a disseminação de bioaerossóis, o aumento da concentração de CO₂ (Dióxido de carbono), medido em PPM (parte por milhão) e a diminuição da umidade relativa, calculado em porcentagem (%), em um ambiente ocupado.

Um problema adicional é a possibilidade de surtos de infecção hospitalar relacionados à contaminação de filtros de condicionadores de ar por bioaerossóis (Borchers et al., 2017; Almeida et al., 2021). Essas partículas biológicas, originárias de fungos, bactérias, algas e ácaros podem se dispersar no ar e disseminar doenças virais (Dai et al., 2021). Urge, portanto, a aplicação de manutenção nos condicionadores de ar, juntamente com a higienização/limpeza, desinfecção e esterilização de serpentinas, dutos, filtros, umidificadores, bandejas, dentre outros, para prevenir os riscos de contaminação por microrganismos virais no ar hospitalar.

A renovação do ar interno é uma consideração relevante, visto que consiste na troca de ar interno de um ambiente por um ar novo tratado, o qual é insuflado para o interior. A princípio, deve-se medir o volume do ambiente e o tempo necessário para a renovação, conforme definido pela norma NBR 7256 (2022). Portanto, a renovação do ar desempenha um papel fundamental na proteção de pacientes imunocomprometidos, acompanhantes e profissionais que atuam em ambientes hospitalares, visto que o ambiente terá um ar tratado, favorecendo a diluição de agentes de infecções hospitalares, gotículas e aerossóis virais (Li e Tang, 2021).

Cabe destacar a importância do Plano de Manutenção, Operação e Controle (PMOC), o qual caracteriza-se como uma manutenção preventiva fundamental para garantir a

qualidade e eficiência dos sistemas de condicionamento de ar. Nessa perspectiva, é de extrema relevância sua aplicação para prolongar a vida útil dos ativos, gerando menos custos e perdas, em relação à manutenção corretiva. Logo, o uso do PMOC permite a segurança e a saúde dos ocupantes e deve ser utilizado em todos os edifícios de uso público e coletivo que possuam ambientes de ar interior climatizado artificialmente, conforme a lei N° 13.589/2018.

Este artigo tem como finalidade realizar um panorama da qualidade do ar sob a perspectiva dos sistemas de climatização utilizados em cinco Unidades Básicas de Saúde (UBS) e no hospital municipal, localizados na cidade de Santa Cruz/RN, Brasil, em consonância com as normas regulamentadoras, NBR 7256:2022 e a RE N° 09 da ANVISA.

2. METODOLOGIA

A pesquisa classifica-se como qualitativa, foi realizada por meio da coleta de dados obtidos por intermédio de entrevistas presenciais com os gestores de cinco Unidades Básicas de Saúde (UBS) e um Hospital municipal, abrangendo toda a área urbana da cidade de Santa Cruz/RN. Para tal, foi utilizado um formulário eletrônico, composto por cinco

perguntas:

- A Unidade Básica de Saúde (UBS) ou Hospital ou Unidade de Pronto Atendimento (UPA) tem conhecimento sobre a NBR 7256 (2022)?
- Como é realizado o processo de climatização?
- A UBS, UPA ou Hospital possui renovação do ar interno nos ambientes?
- Existe a aplicação do PMOC ?
- Qual a capacidade de refrigeração da unidade/hospital (W)?

As respostas das quatro primeiras perguntas listadas acima eram obtidas diretamente pelas informações prestadas pelos respondentes. Para o levantamento da capacidade de refrigeração, a abordagem consistiu na verificação por meio da inspeção visual dos equipamentos de condicionamento de ar das UBS e do hospital, uma vez que não havia registro nos documentos internos dos estabelecimentos sobre a capacidade das máquinas instaladas, segundo os gestores. A partir disso, as respostas foram computadas no formulário eletrônico e os dados analisados com base no conteúdo.

Uma limitação da pesquisa foi o desconhecimento, por parte dos gestores, de alguns termos como “PMOC, condicionador de ar do tipo split-system, carga térmica e norma ABNT NBR 7256”. Ademais, outro fator importante é o fato de que as informações foram coletadas

apenas com os gestores dos estabelecimentos de saúde, pois não existia, exceto no hospital, um profissional técnico de manutenção.

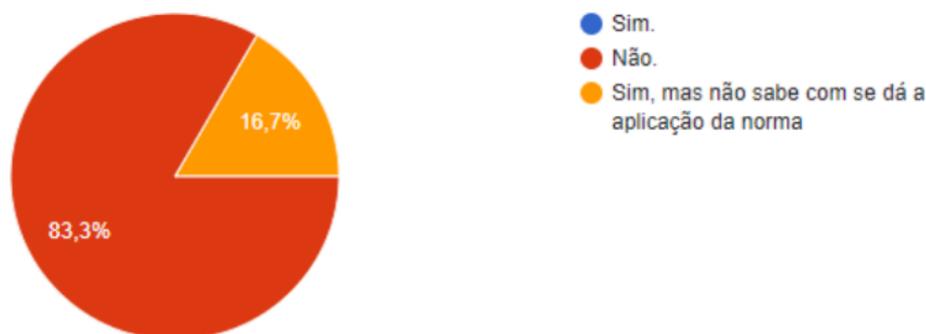
A pesquisa avaliou a qualidade do ar interior em estabelecimentos de saúde na cidade de Santa Cruz/RN, comparando o sistema de climatização com os requisitos da NBR 7256 (2022) e Resolução 09 da ANVISA, em termos do tipo instalado, renovação do ar e manutenção.

3. RESULTADOS E DISCURSÕES

A seguir, serão apresentados os dados coletados sobre qualidade do ar, nas cinco unidades básicas de saúde e um hospital, todos sob a jurisdição municipal.

A Fig. 1 refere-se à pergunta realizada nas entrevistas: “A Unidade Básica de Saúde (UBS), Hospital ou Unidade de Pronto Atendimento (UPA) tem conhecimento sobre a NBR 7256 (2022)?”. Quatro UBS e o Hospital Municipal (83,3%) sequer conheciam sobre a norma, que apesar de ter sido atualizada no final de 2022, já existia desde 2005.

Figura 1. Conhecimento sobre a ABNT NBR 7256 (2022).



Fonte: Autoria própria

Parâmetros como a pressão positiva e negativa nos ambientes, vazão de ar exterior, temperatura interna (bulbo seco), tratamento do ar, velocidade do ar e umidade, devem ser observados e previstos no planejamento dos sistemas de condicionamento de ar dos estabelecimentos assistenciais de saúde e ajustados dentro dos valores apresentados na ABNT NBR 7256 (2022).

O controle das infecções hospitalares é dado por diversas frentes e uma delas é o controle da qualidade do ar interno, com a finalidade de reduzir os riscos biológicos e químicos presentes em atividades de saúde (NBR 7256, 2022). Portanto, o conhecimento e aplicação da norma pelo poder público é imprescindível para garantir uma assistência à saúde de qualidade e segura.

Em relação aos sistemas de climatização, em todos os estabelecimentos assistenciais de saúde visitados, são utilizados condicionadores de ar do tipo split-system. Nas visitas e registros fotográficos, os equipamentos observados eram do tipo high-wall ou piso-teto, modelos disponíveis desse sistema.

A ABNT NBR 7256 (2022) e outras entidades (WHO, 2023) não recomendam o uso de sistemas split-system em estabelecimentos assistenciais de saúde porque esses equipamentos não atendem, ao mesmo tempo, isto é, sem o auxílio de máquinas auxiliares, os requisitos exigidos pela norma como temperatura, umidade, filtragem do ar e inserção de ar externo.

Nas visitas realizadas, ambientes de alta complexidade como centros cirúrgicos, unidades de terapia intensiva e centros odontológicos, também eram climatizadas por máquinas do tipo split o que, em hipótese alguma, conforme preconiza a ABNT 16401 e ABNT 7256, poderiam ter esses espaços acondicionados por sistemas split-system.

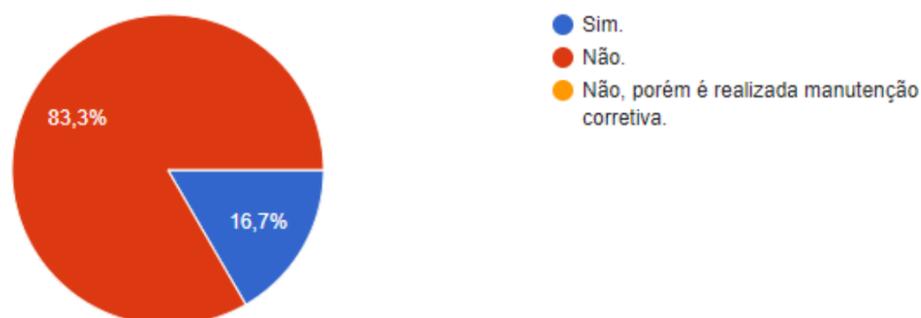
Além disso, foi observado que a inserção de ar exterior, nos ambientes climatizados, não acontece em 100% dos espaços climatizados. Duas razões explicam tal circunstância: a primeira é o tipo do equipamento, o modelo split-system, geralmente não permite ou não vem equipado para tal promoção (André, 2020); a segunda é, a ignorância sobre a importância de renovação do ar interno, quer seja pelo conhecimento e aplicação das normas específicas e isto desde o projeto de climatização, quer seja pela falta de ciência do potencial de transmissão patógenos pelo ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (Oliveira, 2016; WHO, 2023), devido à maior probabilidade contaminação por meio do ar respirável (ANVISA 2020; Tsang et al., 2023; Glowicz et al., 2022).

Inserir o ar externo e filtrado não é suficiente. Faz-se necessário determinar a quantidade de ar exterior, a vazão de cada espaço, pois há diferença desses fatores de acordo com o tipo de procedimento realizado. Promover a entrada de ar exterior poderá acarretar, quando da sua aplicação em locais onde já existem equipamentos de condicionamento de ar instalados, uma adequação na potência de refrigeração do equipamento, porque o ar externo trará aumento da carga térmica por não ter sido prevista essa demanda em projeto prévio (Ferreira e Oliveira, 2021; Silva e Santos, 2022).

A Fig. 2 indica que 83,3%, cinco dos seis estabelecimentos assistenciais de saúde, não executam o plano de manutenção, operação e controle do sistema de condicionamento de ar, o PMOC.

Nas entrevistas com os gestores das UBS e Hospital foi observado que não existe um PMOC desenvolvido pelo Poder Executivo Municipal, responsável pela manutenção dos equipamentos, alguns sequer conheciam o termo “PMOC”. O que acontece, na prática, é a manutenção corretiva quando o município é acionado para tanto.

Figura 2. Aplicação do PMOC



Fonte: Autoria própria

É importante destacar que a ausência de uma manutenção planejada e eficiente em uma unidade interna, presente em um dos ambientes assistenciais de saúde para a promoção de um ar climatizado, proporcionou o desenvolvimento de mofo na unidade evaporadora, um agente de risco biológico causador de alergias, rinite, asma, e outras doenças respiratórias (Kespohl et al., 2022; O'Neil et al., 2022; Rosenstreich et al., 2022).

Da Tab. 1 percebe-se que a carga térmica instalada supera os 17.584 W em cada estabelecimento de saúde, o que torna obrigatório a criação PMOC por parte do município em atendimento a Lei Federal 13.589 de 04/01/18.

De acordo com o PMOC (2018), estabelecimentos públicos com carga térmica igual ou superior a 17.584 W devem dispor e ter um responsável técnico habilitado para execução do plano.

As UBS apresentam uma padronização em sua infraestrutura, isto para efeitos de organização e gestão da manutenção é positivo, pois embora o PMOC seja aplicado por estabelecimento, o layout dos ambientes e equipamentos similares facilita a execução das manutenções (Barroso, 2018). Falta, portanto, o desenvolvimento dos PMOC.

Não se trata de um simples atendimento ao legislativo, a ausência de um plano de manutenção aplicável ao sistema de ar-condicionado gera prejuízo financeiro, perdas material e má qualidade na prestação do serviço público, uma vez que a manutenção corretiva é a

menos recomendada quando comparada outros tipos de manutenção, como as preventivas e preditivas (Ferreira e Oliveira, 2021; Bottega et al., 2022).

Tabela 1. Carga Térmica dos estabelecimentos de saúde.

Estabelecimento de saúde	Carga térmica (W)
UBS DNER	27.255
UBS Cônego Monte	27.120
UBS Maracujá	21.101
Hospital Municipal	181.656
UBS Paraíso	79.083
UBS Centro	65.061

Fonte: Autoria própria

4. CONCLUSÃO

Os critérios para uma qualidade do ar em ambientes climatizados consistem no controle da temperatura interna, umidade interna, renovação do ar interior, velocidade do ar de insuflamento, pressão positiva e negativa, filtragem do ar externo e o tipo de equipamento de climatização.

Desde a concepção dos estabelecimentos assistenciais de saúde a qualidade do ar interior requer atenção, de modo a atender as recomendações técnicas existentes no Brasil, cujo destaque consta na ABNT NBR 7256 (2022).

Nenhuma unidade básica de saúde no município avaliado atendia aos pré-requisitos mínimos de qualidade do ar da ABNT NBR 7256 e não executavam o PMOC. Essa observação pode ser estendida a outros municípios do interior do país sob as mesmas condições de instalações dos sistemas de climatização.

Outro fator relevante é a ausência de projeto para os sistemas de climatização. Percebe-se que a atenção dada a qualidade do ar é apenas sob a perspectiva da temperatura. Logo, adotavam o condicionador de ar modelo split-system que, apesar de manter uma temperatura ideal para conforto térmico, limita-se frente aos parâmetros da qualidade do ar, apresentados anteriormente.

A negligência do Estado, em relação à qualidade do ar nos estabelecimentos assistenciais de saúde, coloca em risco a saúde de profissionais e pacientes que são expostos a patógenos suspensos no ar, disseminados por um sistema de climatização precarizado e inadequado.

A qualidade do ar, em sentido mais amplo, precisa ser compreendida e debatida entre gestores e autoridades, principalmente aqueles responsáveis pelos espaços de atendimento médico-hospitalares, uma vez que os ambientes para promoção da saúde não podem ser locais para disseminação de doenças).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.G.C.D.S. et al. Impact of negative pressure system on microbiological air quality in a Central Sterile Supply Department. *Journal of Occupational Health*, v. 63, 2021, e12234. DOI: 10.1002/1348-9585.12234.
- ANDRÉ, T. S. Recomendações, frente a covid-19, quanto ao uso de ventiladores mecânicos e condicionadores de ar (split system) em ambientes escolares. *Revista Holos*, v. 5, p. 1-8, 2020.
- ANVISA. Resolução no 9, de 16 de janeiro de 2003. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7256: Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) - Requisitos para projeto e execução das instalações. Rio de Janeiro, 2022.
- BRASIL. Lei n. 13.589, de 4 de janeiro de 2018, dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 05 jan. 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria n. 3.523, de 28 de agosto de 1998.
- BORCHERS, A. T.; CHANG, C.; ERIC GERSHWIN, M. Mold and human health: A reality check. *Clinical reviews in allergy & immunology*, v. 52, n. 3, p. 305–322, 2017.
- BOTTEGA, G. S. DE S. et al. Manutenção predial com ênfase em sistemas hidrossanitários: revisão sistemática da literatura. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 27, n. 3, p. 435–443, 2022.
- COMMISSION FOR HOSPITAL HYGIENE AND INFECTION PREVENTION (KRINKO). Infection prevention requirements for the medical care of immunosuppressed patients: recommendations of the Commission for Hospital Hygiene and Infection Prevention (KRINKO) at the Robert Koch Institute. German Medical Science GMS Publishing House, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3205/DGKH000410>.

- DAI, R. et al. A systematic review and meta-analysis of indoor bioaerosols in hospitals: The influence of heating, ventilation, and air conditioning. *PloS one*, v. 16, n. 12, p. e0259996, 2021.
- FERREIRA, A.M.; OLIVEIRA, J.A. Manutenção preventiva e preditiva em sistemas de ar-condicionado: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, 21(3), 292-301. 2021.
- GLOWICZ, J. et al. SHEA/IDSA/APIC Practice Recommendation: Strategies to prevent healthcare-associated infections through hand hygiene: 2022 Update. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, v. 44, n. 3, p. 355-376, 2023. DOI: 10.1017/ice.2022.304.
- KESPOHL, S. et al. What should be tested in patients with suspected mold exposure? Usefulness of serological markers for the diagnosis. *Allergologie select*, v. 6, n. 01, p. 118–132, 2022.
- LI, C.; TANG, H. Study on ventilation rates and assessment of infection risks of COVID-19 in an outpatient building. *Journal of Building Engineering*, v. 42, n.1, out. 2021.
- OLIVEIRA, H. M. de; SILVA, C. P. R.; LACERDA, R. A. Policies for control and prevention of infections related to healthcare assistance in Brazil: a conceptual analysis. *Revista da Escola de Enfermagem da USP*, v. 50, n. 3, p. 505– 511, 2016.
- O'NEIL, S. E. et al. Mold exposure and respiratory health: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, v. 129, n. 10, p. 106004, 2021.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Prevención y control de infecciones asociadas a la atención de la salud: Recomendaciones Básicas. [S.l.]: Organización Panamericana de la Salud, 2017. ISBN: 978-92-75-31954-3
- PINA, E.; FERREIRA, E.; MARQUES, A.; MATOS, B. Infecções associadas aos cuidados de saúde e segurança do doente. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*, Vol. Temático(10): 27-39; 2010.
- SILVA, M.A.; SANTOS, R.C. Importância da manutenção preventiva e preditiva em sistemas de ar-condicionado. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 3(1), 1-10. 2022.
- TSANG, T. W.; WONG, L. T.; MUI, K. W. Experimental studies on airborne transmission in hospitals: A systematic review. *Indoor + built environment: the journal of the International Society of the Built Environment*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X23120552>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Global strategy on infection prevention and control. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-strategy-on-infection-prevention-and-control>. Acesso em: 16 nov. 2023.

CAPÍTULO XIII

MATERIAL DE MUDANÇA DE FASE APRIMORADO COM NANOPARTÍCULAS A BASE DE CARBONO

PHASE CHANGE MATERIAL ENHANCED WITH CARBON-BASED HYBRID NANOPARTICLES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-13

Thiago da Silva André¹
Cabral Antônio Cabral dos Santos²
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior³
Cleiton Rubens Formiga Barbosa⁴

¹ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

³ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

⁴ Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

RESUMO

O material de mudança de fase é uma alternativa energética sustentável para reduzir a demanda de energia elétrica. Uma das aplicações do material de mudança de fase (PCM) é em sistemas de refrigeração, pois absorve o calor latente dos produtos armazenados quando não há fornecimento de energia que os mantém congelados e mantém a temperatura interna, dentro do espaço frio, constante por um período. Nessa perspectiva, esta pesquisa desenvolveu quatro PCMs à base de água mais álcool. O primeiro é uma mistura de água e glicerol, que atuará diminuindo o ponto de fusão da água, com temperatura de congelamento abaixo de zero grau, para ser aplicada em freezers ou câmaras frigoríficas. Os outros são PCM (água + glicerol) aprimorados com nanopartículas (NP) à base de carbono com quitosana funcionalizada: nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT) e óxido de grafeno (GO). A quantidade de nanopartículas foi de 0,1 kg/m³ em cada NePCM, com variações nas porcentagens de NP, 75% de MWCNT + 25% GO (NePCM-AG1), 50% de MWCNT + 50% GO (NePCM-AG2) e 100% MWCNT (NePCM-AG3), foram assim chamados. Além disso, as propriedades termofísicas avaliadas foram condutividade térmica e estabilidade. Em geral, as nanopartículas contribuíram para um aumento no valor da condutividade térmica, em média 1,5% e o NePCM-AG2 foi o mais indicado para utilização em sistemas de armazenamento térmico de energia latente em baixas temperaturas, na faixa de 5°C a -5°C.

Palavras-chave: NePCM. Condutividade térmica. Resfriamento. Energia térmica latente.

ABSTRACT

Phase change material is a sustainable energy alternative to reduce electrical energy demand. One of the applications of the phase change material (PCM) is in refrigeration systems, as it absorbs latent heat from stored products when there is no supply of energy that keeps them frozen and keeps the internal temperature, inside the cold space, constant for a period. In this perspective, this research developed four PCMs based on water plus alcohol. The first is a mixture of water and glycerol, which will act by lowering the melting point of water, with a freezing temperature below zero degrees, to be applied in freezers or cold rooms. The others are PCM (water + glycerol) enhanced with carbon-based nanoparticles (NP) chitosan functionalized: multi-walled carbon nanotubes (MWCNT) and graphene oxide (GO). The amount of nanoparticles was 0.1 kg/m³ in each NePCM, with variations in the percentages of NP, 75% of MWCNT + 25% GO (NePCM-AG1), 50% of MWCNT + 50% GO (NePCM-AG2) and 100% MWCNT (NePCM-AG3), were so named. Furthermore, the thermophysical properties evaluated were thermal conductivity and stability. In general, nanoparticles contributed to an increase in the thermal conductivity value, on average 1.5%, NePCM-AG2 was the most suitable for use in thermal latent energy storage systems at low temperatures, in the range of 5°C to -5°C.

Keywords: NePCM. Thermal conductivity. Cooling. Latent thermal energy.

1. INTRODUÇÃO

Várias técnicas têm sido aplicadas para o melhoramento dos sistemas de refrigeração, exemplificam-se o desenvolvimento de compressores mais eficazes, o aumento na transferência de calor nos evaporadores e condensadores, o isolamento térmico, a estanqueidade das portas e a implantação de novos ciclos de refrigeração (MASTANI JOYBARI *et al.*, 2015).

Os denominados materiais de mudança de fase, termo traduzido do inglês “*phase change materials*” (PCM), são amplamente empregues no armazenamento de energia térmica latente. Em situações as quais a temperatura local do espaço refrigerado estiver maior que o ponto de fusão do PCM, esse material absorve energia, mantendo a temperatura local constante por um período; do contrário, quando a temperatura ambiente for menor que o ponto de fusão, o material de mudança de fase libera a energia nele acumulada, sem variações na temperatura por um espaço de tempo.

Os PCM são funcionais quando se busca uma economia no consumo de eletricidade. Nos horários de maior tarifação, desliga-se o sistema de congelamento, então entra em atuação o material de mudança de fase (GEETE *et al.*, 2018).

Ademais, os PCM também atuam como mantenedores da temperatura, minimizando os efeitos de flutuações, que podem ser resultantes da queda ou falta de energia elétrica, abertura de portas ou instabilidade no sistema de refrigeração (WANG *et al.*, 2007).

A água é o PCM universal e bastante utilizada quando se trata de acúmulo energético sob condições de baixas temperaturas, isto é, resfriar e congelar produtos, alimentos etc. Seu ponto de solidificação/congelamento é 0°C, portanto, faz-se necessário, para temperaturas inferiores a referida, aditivar o PCM com um material que proporcione a redução do ponto de fusão. Para tanto, os álcoois têm sido empregues nessa finalidade e a glicerina será o aditivo a ser incorporada à água, reduzindo seu ponto de solidificação (BEATRIZ *et al.*, 2011).

Entretanto, uma das desvantagens do uso da água e outros PCM é a baixa condutividade térmica, propriedade que influencia diretamente na taxa de transferência de calor (KIBRIA *et al.*, 2015). Assim, o incremento de nanopartículas (NP) nos materiais de mudança de fase pode resultar no aumento da condutividade térmica, são os denominados NePCM, PCM aprimorados com nanomateriais (ELIAS e STATHOPOULOS, 2019).

O objetivo desta investigação é desenvolver dois PCM à base água mais glicerina, aditivados com nanopartículas de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT) e óxido de grafeno (OG), a serem empregados em sistemas de refrigeração.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma breve descrição dos fundamentos dos materiais de mudança de fase será apresentada, bem como os nanomateriais e duas propriedades estudadas, condutividade térmica e estabilidade.

2.1. PCM

Materiais de mudança de fase armazenam energia na forma latente, isto é, quando da transição de fases, sólido-líquido, líquido-gasoso, absorvem ou liberam calor, com manutenção da temperatura. Em termos práticos, as fases sólidas e líquidas são as mais operacionais, pois a mudança de volume é praticamente nula.

Ao se aquecer um PCM, acontece a mudança de sólido para líquido, ou seja, a fusão. Nesse processo, o material de mudança de fase absorve calor do ambiente e libera o calor nele armazenado. No resfriamento, o PCM alterna de líquido para sólido, a solidificação. Na transição, o material de mudança de fase libera calor ao ambiente e acumula o calor proveniente do seu entorno.

2.2. NANOMATERIAIS

São materiais com dimensões (pelo menos uma delas) no intervalo de 1 a 100 nm. Filmes ultrafinos, nanopartículas e fios quânticos são espécies de nanomateriais. Nanopartículas (NP) têm dimensões em nanoescala em três direções, filmes em nanoescala em duas direções e nanofios em uma. As nanopartículas serão aplicadas neste estudo.

A dispersão de NP em materiais de mudança de fase tende a aprimorar algumas propriedades. Assim, aumentar a condutividade térmica e a quantidade de energia armazenada (calor latente), reduzir o subresfriamento, diminuir o tempo para alternância das fases e, em alguns casos, elevação do calor específico são efeitos obtidos ou esperados pelo incremento das nanopartículas no PCM.

Por outro lado, pode haver redução nos valores das propriedades após vários ciclos, aumento na viscosidade dinâmica e redução na energia acumulada à proporção que NP são adicionadas ao PCM.

2.3. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica tem relação direta com a taxa de transferência de calor, isto é, quanto maior o valor da condutividade, maior a taxa de calor transportado.

Nos NePCM, a condutividade térmica é vinculada a fatores como forma, tamanho, quantidade e tipo de nanopartículas. NP menores ofertam um maior incremento. Em relação à quantidade, frações maiores tendem a elevar a taxa de transferência de calor. NP do tipo plaqueta, em comparação aos demais, são as que fornecem uma melhor contribuição à condutividade térmica.

2.4. ESTABILIDADE

A sedimentação acontece ao se adicionar nanomateriais em um fluido. Uma dispersão fraca das NPs pode inviabilizar a aplicação do material (BARBOSA JUNIOR, 2021).

Os Surfactantes são agentes químicos e têm efeito desagregante, porém afeta, entre outros, a condutividade térmica e a viscosidade do NePCM (ALMEIDA, 2015).

Adicionar outras nanopartículas de modo a promover uma sinergia com a NP principal, objetivando a dispersão no PCM foi aplicada por MU *et al.* (2019). De outro modo, uma segunda nanopartícula auxilia no processo de estabilidade do NePCM.

A funcionalização das NP também é usual quando se deseja uma melhor integração com outros materiais (HOLANDA, 2018), uma vez que, de um modo geral, as nanopartículas são hidrofóbicas. Após a funcionalização, as NP tornam-se hidrofílicas, tornando a dispersão em meio aquoso possível.

Outra possibilidade é no modo de preparação de NePCM. O método de um passo, no qual a produção e a dispersão das NP, no fluido, acontecem ao mesmo tempo, apresenta melhor estabilidade das NP dispersas em relação à técnica de dois passos, produção e dispersão que acontecem em estágios separados (SAJID; ALI, 2018).

Na seleção de um PCM, busca-se um equilíbrio entre as propriedades físicas, químicas, cinéticas, térmicas e econômicas. Depois de repetidos ciclos, isto é, várias mudanças de fases, a manutenção nos valores das propriedades deve ser significativa.

Alta densidade energética (propriedade física), subresfriamento inexistente (propriedade cinética), não degradação do material (propriedade química), abundância e reciclagem (aspecto econômico) entre outras são pretendidos quando do uso de PCM.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção irá descrever os materiais que compõem o PCM e o NePCM e a metodologia para a realização dos testes experimentais.

3.1. MATERIAIS

Para o incremento da condutividade térmica, objetivo principal da adição de nanomateriais no PCM, foram selecionadas duas nanopartículas. O primeiro, MWCNTs, nanotubos de carbono de paredes múltiplas, de fabricação SIGMA. Esses NPs têm um valor de condutividade térmica intrínseca muito alto (4000 W/m/K) em comparação com outros grupos de NP. Além disso, os nanopós são encontrados comercialmente, facilitando o processo de produção do NePCM, uma vez que nenhuma síntese e posterior caracterização serão necessárias.

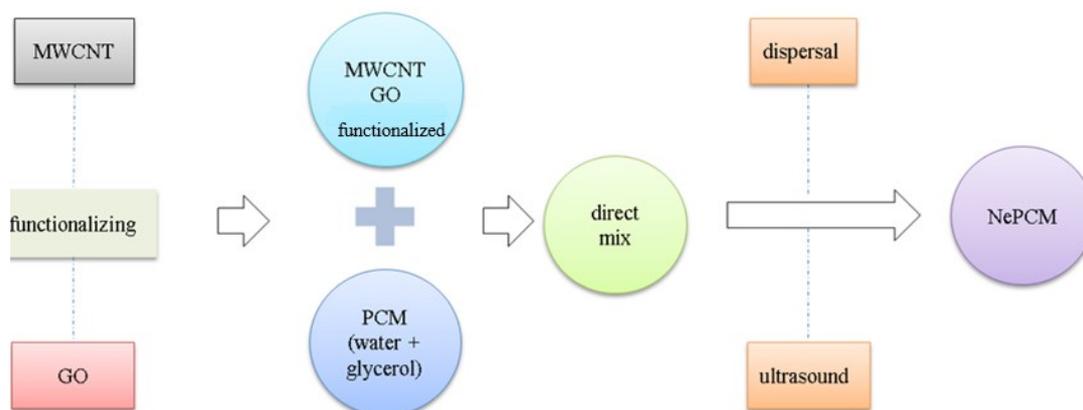
A segunda nanopartícula empregada é o óxido de grafeno (GO). Sua função primária é atuar como um estabilizador para os MWCNTs, conforme observado por (MU *et al.*, 2019), então será aplicado em proporções menores ou iguais aos MWCNTs. Os GO NPs foram obtidos no laboratório de Engenharia Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Como as nanopartículas à base de carbono, NTCWM e GO, são hidrofóbicas, elas foram funcionalizadas para se tornarem hidrofílicas, uma vez que PCM é água. O pó de quitosana, por ser um agente funcionalizante, foi aplicado para esse fim. Esse biopolímero vem da casca de crustáceos como o camarão, empregado para melhor dispersar os NPs de carbono e, por sua vez, torná-lo mais estável quando em meio aquoso (HOLANDA, 2018).

3.2. MÉTODOS

Com base nos trabalhos de Almeida (2015), Azevedo (2016) e Barbosa Junior (2019) o NePCM foi fabricado seguindo oito etapas (Figura 1): (a) composição do PCM, (b) medir o volume do PCM, (c) pesar a massa do PCM, (d) pesar as nanopartículas do PCM, (e) funcionalizar os NPs, (f) adicionar os NPs funcionalizados ao PCM, (g) desfragmentação e (h) dispersão.

Figura 1. Etapas de preparação do PCM.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os equipamentos auxiliares na composição do PCM foram uma balança digital de precisão (fabricação Tecnal, com resolução de 0,0001g), béquer graduado, copo graduado, cadinho, palete de aço inoxidável, pipeta graduada, agitador magnético analógico (temperatura 350 °C e RPM 950, valores máximos), banho ultrassônico com frequência de 40 KHz (fabricante SACCH).

Primeiro, o PCM foi formulado. Para tanto, água destilada e glicerol, anticongelante, foram misturados em agitador magnético por 30 minutos com rotação de 650 RPM. A fração de glicerol inserida foi baseada no ponto de congelamento esperado do PCM. Foi estimado - 5 °C para este ponto, devido às aplicações em sistemas de refrigeração, portanto, com o auxílio do *software SecCool*, a quantidade de glicerol, em porcentagem da massa, a ser adicionado na água destilada, indicada pelo *SecCool*, é de 19%, ou seja, para cada 1 ml de água adiciona-se 0,15 cm³ de glicerol.

Em seguida, é definida a porcentagem de nanopartículas a serem introduzidas no PCM, formando assim o NePCM. Houveram três materiais de mudança de fase nano-aprimorados. Para cada NePCM, a fração total (MWCNT + GO) de NP é de 0,1 kg/m³, disposta da seguinte forma: o NePCM-AG1 é formado por 75% MWCNT e 25% GO; o NePCM-AG2 é formado por 50% MWCNT e 50% GO; o NePCM-AG3 tem 100% MWCNT. Conforme já mencionado, foi investigado, entre outros, se o GO NP auxilia na dispersão dos NPs MWCNT.

As nanopartículas são hidrofóbicas e para resolver esse problema recorreu-se à funcionalização das NPs. Para esse fim, foi produzida uma solução de quitosana de 100 cm³. Esse líquido é formado por um grama de pó de quitosana, adicionado a 99 cm³ de água e 1 ml de ácido ascético; em um béquer a solução passa por agitação magnética, com rotação de 700

RPM, por duas horas, por fim, é filtrada duas vezes com papel filtro (SÁ, 2015), finalizando assim o preparo da solução.

Com a solução concluída, a próxima etapa é a adição de nanopartículas. Nessa perspectiva, a massa dos NPs é medida em balanças de precisão e posteriormente colocada em um béquer com 10 cm³ da solução de quitosana (HOLANDA, 2017). Essa mistura vai para um banho de ultrassom por 2 horas e, em seguida, é agitada magneticamente por 1 hora. Após este processo, a funcionalização é alcançada.

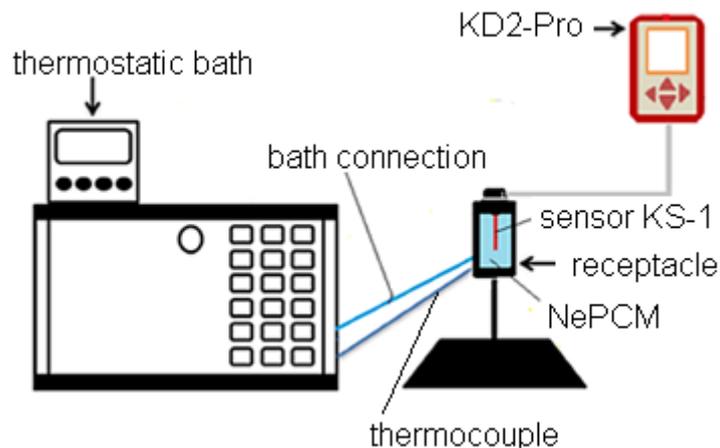
Em seguida, 40 cm³ do PCM (água + glicerol) são despejados no recipiente que contém as nanopartículas funcionalizadas na solução de quitosana. O motivo dessa ação é que a solução de quitosana é composta por 99% de água destilada.

A mistura é novamente colocada em banho ultrassônico (desfragmentação) por mais 2 horas, seguido de agitação magnética (dispersão) por mais 1 hora. Após essas etapas, o desenvolvimento do NePCM é finalizado. Cada amostra tem 50 ml de material de mudança de fase nanoaprimorado.

A condutividade térmica foi medida usando um medidor de condutividade, o KD2-PRO da *Decagon Devices*. A sonda selecionada é a KS-1 e pode ter uma incerteza de medição de $\pm 5\%$. O NePCM é despejado em um recipiente e colocado sob a ação de um banho termostático (*Brookfield TC-550*). Este banho tem a função de oscilar a temperatura do NePCM, para análise da condutividade térmica em várias gamas, nomeadamente de 15 °C a -5 °C, variando a cada 5 °C a recolha de valores.

O NePCM tem sua temperatura monitorada por um termopar, localizado na base do receptáculo que contém o material. Além deste termopar, o próprio medidor de condutividade mede a temperatura por meio da sonda, indicando seu valor no display. Uma vez que a temperatura desejada foi atingida, um período de estabilização de 15 minutos foi aguardado para medição de condutividade térmica. Os experimentos foram repetidos cinco vezes em cada faixa de temperatura, com variação permitida de $\pm 0,5$ °C. A configuração do equipamento é mostrada na Figura 2.

Figura 2. Bancada para medição de condutividade térmica.

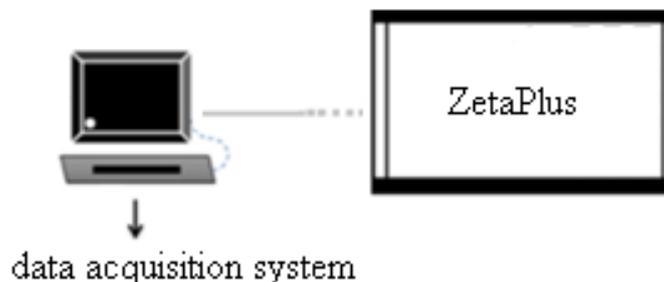


Fonte: Autoria própria (2024).

A estabilidade nas nanopartículas no material de mudança de fase foi analisada através do ensaio de potencial Zeta, equipamento *Zeta Plus Analyser Brookhaven Instruments Corporation*, Figura 3. Desse modo, quando o valor da carga indicada pelo potencial Zeta está no intervalo de -25 mV a 25 mV, diz-se que o material apresenta instabilidade (SINCERO; SINCERO, 2003).

As amostras de NePCM foram colocadas em cubetas de material polimérico, inseridas na câmara localizada no interior do equipamento. São tomadas 10 medições, isto é, 10 ciclos são efetivados e o valor do potencial Zeta é obtido pelo cálculo da média, dada em mV, dos valores aferidos. A temperatura ambiente estava em 27,5 °C e o potencial hidrogeniônico (PH), ajustado por soluções de HCl e NaOH no equipamento, foi de 7, neutro. A experiência ocorre à temperatura ambiente.

Figura 3. Equipamento ZetaPlus.



Fonte: Autoria própria (2024).

Vale ressaltar que nos testes, quando foi atingida a temperatura de -5 °C, os três NePCM ainda estavam no estado líquido. Portanto, conclui-se que a solução de quitosana,

além de funcionalizar como NP, contribui para a diminuição do ponto de fusão do PCM nanoaprimorado.

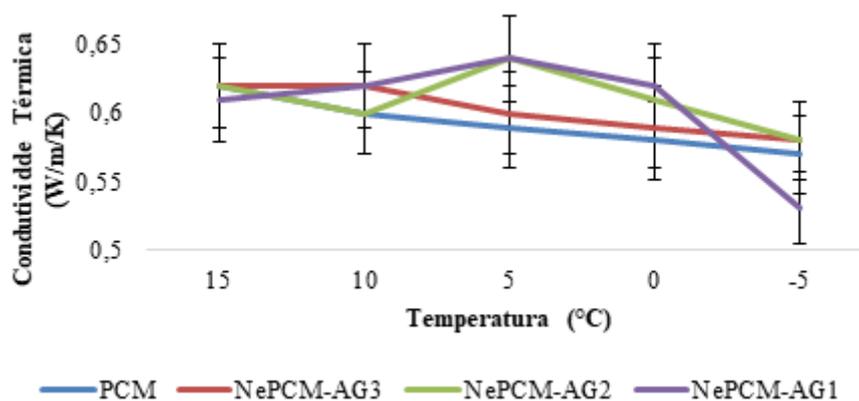
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios experimentais da condutividade térmica, estabilidade e viscosidade dinâmica serão apresentados a seguir.

4.1. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica está diretamente relacionada à taxa de transferência de calor, ou seja, quanto maior o valor da condutividade, maior a taxa de calor transportado. Os valores médios, em W/m/K, são mostrados na Figura 4.

Figura 4. Condutividade Térmica x Temperatura (PCM)



Fonte: Autoria própria (2024).

A Figura 4 aponta uma diminuição no valor da condutividade térmica média com o declínio da temperatura. É interessante notar que o PCM a -5 °C ainda estava totalmente no estado líquido.

Ao comparar o PCM com o NePCM-AG1 pode ser visto na Figura 4 que em temperaturas de 10 °C a 0 °C a condutividade térmica do NePCM foi maior. A 10 °C (3,12% superior); a 5 °C (8,68% superior) e a 0 °C (5,69%).

O NePCM-AG2 registrou um aumento na condutividade térmica a 5 °C, 0 °C e -5 °C. A 5 °C (aumento de 1,58%); a 0 °C (4,06%) e a -5 °C (0,62%).

Em todas as temperaturas medidas, o NePCM-AG3 indicou um valor de condutividade térmica superior em relação ao PCM. Na Figura 4, pode-se observar um aumento de 0,71% a 15 °C, 3,22% a 10 °C, 2,94% a 5 °C, 0,78% a 0 °C e 2,16% a -5 °C.

Tal como acontece com o PCM, à medida que a temperatura diminui, também diminui a condutividade térmica dos materiais nano-aprimorados. Para cada faixa de temperatura, um dos NePCMs, seja AG1, AG2 ou AG-3, se destacou indicando o maior registro de condutividade. A 15 °C, 10 °C e -5 °C, o maior valor de condutividade térmica é indicado por NePCM-AG3; a 5 °C e 0 °C, destaca-se NePCM-AG1.

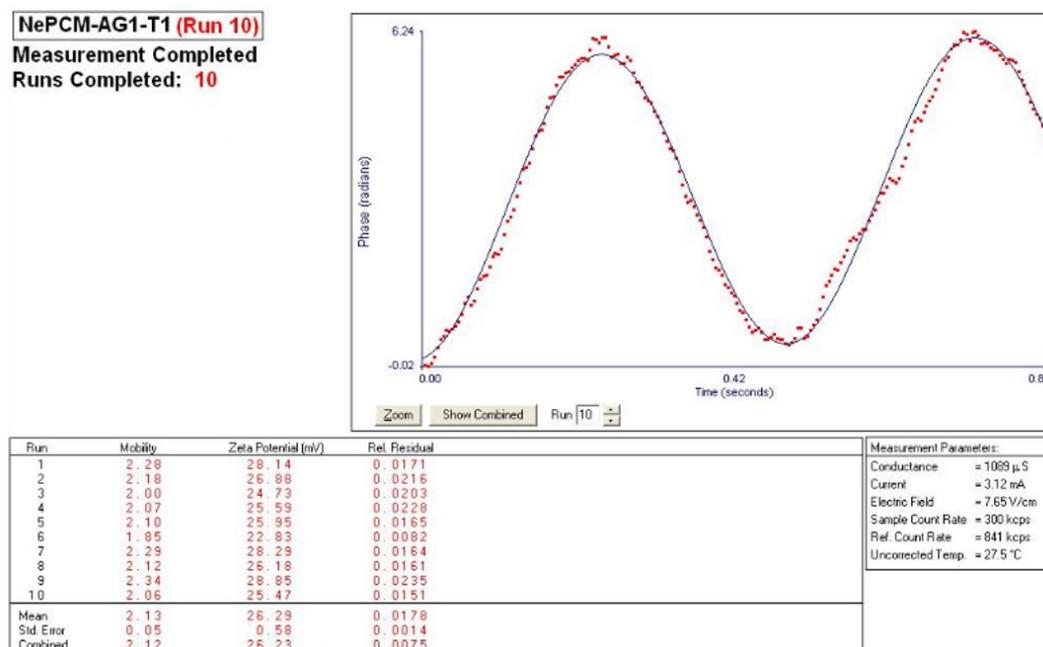
Pode-se ainda extrair que em NePCMs com maior quantidade de MWCNTs, em comparação ao GO, a medida de condutividade térmica também é maior. O motivo da conquista está no valor intrínseco dessa propriedade nas NPs do tipo MWCNT.

Destacam-se o maior e o menor incremento no valor da condutividade e seus respectivos materiais: NePCM-AG3 na temperatura de 5 °C, 8,68% e, o menor ocorreu em -5 °C, 0,62%.

4.2. ESTABILIDADE

Após a produção dos NePCMs, eles foram testados quanto à estabilidade por meio do Potencial Zeta. Os resultados são mostrados na Figura 5, Figura 6 e Figura 7.

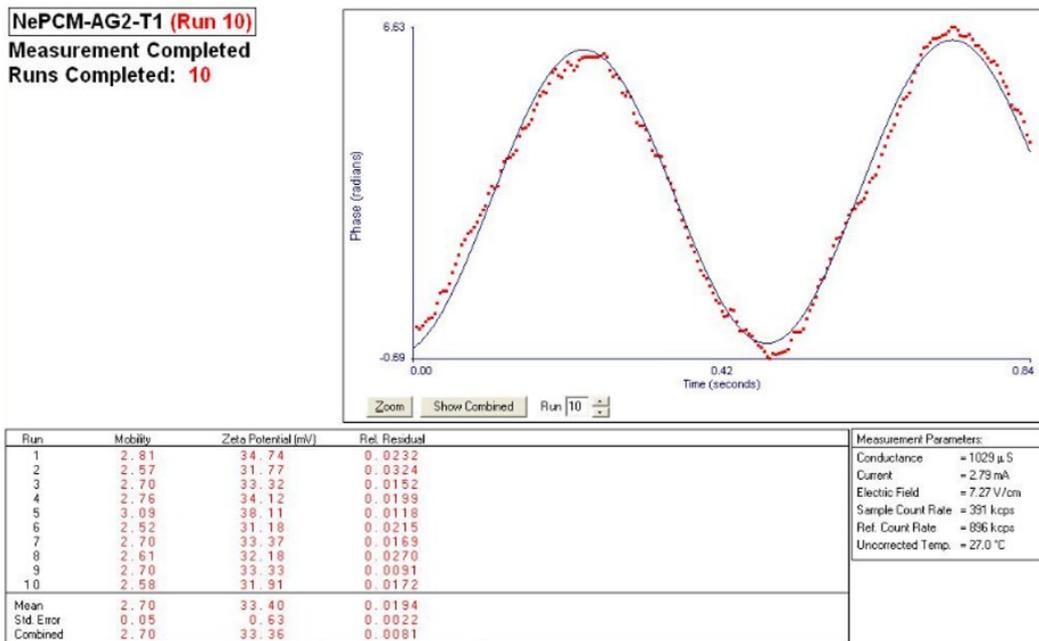
Figura 5. Potencial Zeta NePCM-AG1 (captura de tela).



Fonte: Autoria própria (2024).

O NePCM-AG1, constituído por 75% de MWCNT e 25% de OG, apresentou, de acordo com o valor do Potencial Zeta, estabilidade, 26,29 mV.

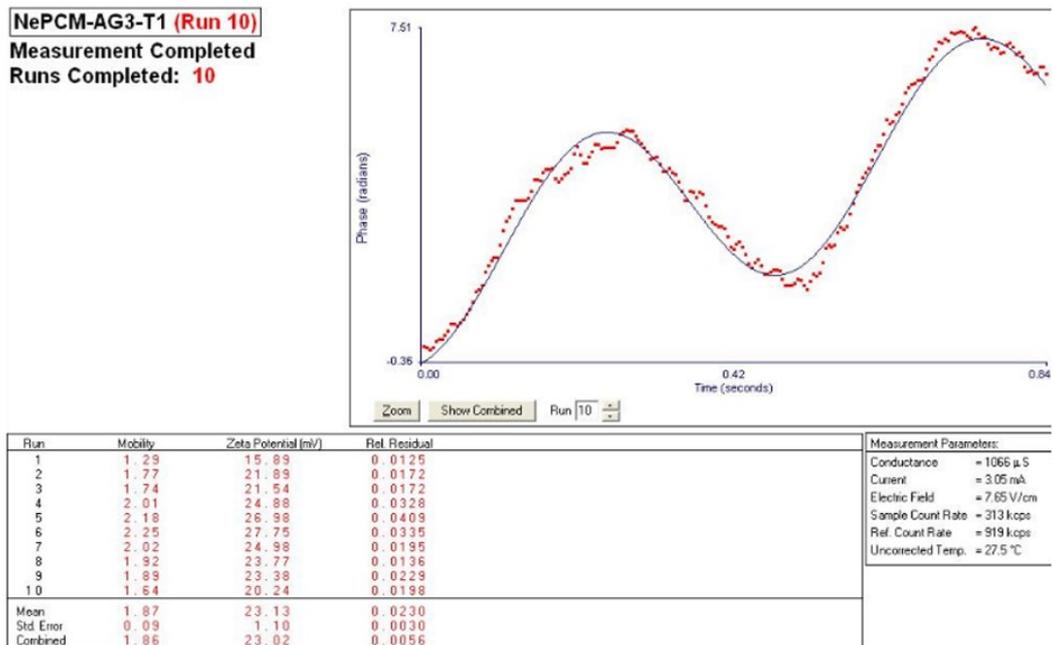
Figura 6. Potencial Zeta NePCM-AG2 (captura de tela).



Fonte: Autoria própria (2024).

A estabilidade também é observada no NePCM-AG2, formado por 50% de MWCNT e 50% de OG, cujo valor do Potencial Zeta médio foi de 33,40 mV. Essa não aglomeração é resultado do efeito das nanoplacas de óxido de grafeno, uma vez que estas atuam, entre outros, como agente físico de separação das MWCNT.

Figura 7. Potencial Zeta NePCM-AG3 (captura de tela).



Fonte: Autoria própria (2024).

Dos três NePCM, o NePCM-AG3 indicou um potencial zeta médio de 23,13 mV, o que, indica instabilidade no material, isto é, as nanopartículas estão aglomeradas. O NePCM possui NP de MWCNT, apenas.

Em termos coinparativos, o NePCM-AG2 é o NePCM mais estável, pois apresentou o maior valor do Potencial Zeta, corroborando a influência positiva que uma maior quantidade de OG tem na dispersão das MWCNT.

Importante informar que os ensaios do Potencial Zeta foram realizados assim que o processo de elaboração dos NePCM era finalizado, de outro modo, as amostras não ficaram em repouso.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa confirma sua hipótese investigativa: as nanopartículas contribuíram para um aumento no valor da condutividade térmica do PCM. Os NePCM apresentaram uma melhor resposta térmica ao processo de transferência de calor, isto sob a perspectiva da condutividade térmica.

Embora tenha elevado o valor da condutividade térmica, esse acréscimo, no geral, foi pequeno, 1,5%. Esse valor é uma média das condutividades aferidas para todas as faixas de temperaturas, comparadas ao PCM. Destaca-se o NePCM-AG3, pois, em 4 das cinco temperaturas avaliadas, indicou um valor de condutividade térmica maior que o PCM. A explicação para tal reside no fato desse NePCM possui, apenas, MWCNT com NP.

Em termos de estabilidade, o NePCM-AG2 é o PCM nanoaprimorado mais estável e, portanto, plausível para aplicação real em sistemas de refrigeração. O NePCM-AG1 também apontou estabilidade.

Por fim, ao se ponderar as propriedades avaliadas, condutividade térmica e estabilidade o NePCM-AG2 foi o mais indicado para utilização em sistemas de armazenamento térmico de energia latente em baixas temperaturas, na faixa de 5°C a -5°C.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. M. G. Análise tribo-termodinâmica da aplicação de nanopartículas de Al₂O₃ como aditivo lubrificante em um compressor de refrigeração hermético. 2015. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

- AMARAL, C. *et al.* Materiais de mudança de fase e nanoestruturas de carbono para armazenamento de energia térmica: Uma revisão da literatura. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, p. 1212–1228, 2017.
- AZEVEDO, V. F. Análise termo-reológica de nanolubrificantes para compressores de refrigeração com aditivos de nanotubos de carbono. 2016. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- BARBOSA JÚNIOR, C. R. F. Estudo experimental do nanofluido hidrônico Al₂O₃-MWCNTs / POE. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- BEATRIZ, A. *et al.* Glicerol: Um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. *Química Nova*, v. 34, n. 2, p. 306–319, 2011.
- ELIAS, C. N.; STATHOPOULOS, V. N. Uma revisão abrangente dos avanços recentes nos aspectos materiais de materiais de mudança de fase no armazenamento de energia térmica. *Energy Procedia*, v. 161, p. 385-394, 2019.
- GEETE, P. *et al.* Análise de desempenho por implementação de PCM microencapsulado em refrigerador doméstico: uma nova abordagem. *International Journal of Applied Engineering Research*, v. 13, n. 19, p. 14365–14371, 2018.
- HOLANDA, R. A. Avaliação experimental de um nanolubrificante híbrido composto por Al₂O₃ e grafite. 2018. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- JATOBÁ, A. *et al.* Alternativas para o uso do glicerol produzido a partir do biodiesel. *Revista Brasileira de Ergonomia*, v. 9, n. 2, p. 10, 2016. DOI: 10.5151/cidi2017-060.
- KIBRIA, M. A. *et al.* A review on thermophysical properties of nanoparticle dispersed phase change materials. *Energy Conversion and Management*, v. 95, p. 69–89, maio 2015.
- MASTANI JOYBARI, M. *et al.* Calor e armazenamento a frio usando materiais de mudança de fase em sistemas de refrigeração domésticos: O estado da arte (revisão). *Energia e Edifícios*, v. 106, p. 111-124, 2015. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.016.
- MU, C. *et al.* Efeito do óxido de grafeno bidimensional na estabilidade de mudança de fase de nanotubos de carbono e sua aplicação para armazenamento de energia térmica. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 21, n. 2, 2019. DOI: 10.1007/s11051-019-4460-2.
- SÁ, C. S. A. Desenvolvimento de um material têxtil termossensível com micro/nanocápsulas imobilizadas em fibras regeneradas. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SAJID, M. U.; ALI, H. M. Condutividade térmica de nanofluidos híbridos: Uma revisão crítica. *Jornal Internacional de Transferência de Calor e Massa*, v. 126, p. 211-234, 2018.

SINCERO, A. P.; SINCERO, G. A. Tratamento físico-químico de água e águas residuais. Londres: Iwa Pub.; Boca Raton, Flórida, 2003.

WANG, F. *et al.* Highly stable graphite nanoparticle-dispersed phase change emulsions with little supercooling and high thermal conductivity for cold energy storage. *Applied energy*, v. 188, p. 97–106, 2017.

ÓLEO SINTÉTICO POLIOESTER PARA COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS DE ALUMÍNIO EM SUSPENSÃO E AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

SYNTHETIC POLYESTER OIL FOR REFRIGERATION COMPRESSORS WITH ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES IN SUSPENSION AND EVALUATION OF THERMAL CONDUCTIVITY

DOI: 10.51859/amplla.pet4499-14

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior¹
Cleiton Rubens Formiga Barbosa²
Thiago da Silva André³
Wertson da Silva Resende⁴
Edilson Marinho da Silva Júnior⁵

¹ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

³ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba – UFPB

⁴ Graduando do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

⁵ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

RESUMO

Este artigo explora o uso de nanofluidos em unidades de refrigeração e de ar-condicionado, com foco em seu potencial para aumentar a eficiência do sistema. Destaca-se a importância dos nanofluidos, compostos de óleo e nanopartículas sólidas, como fluidos de transferência de calor eficazes em sistemas de transmissão de calor. Neste estudo experimental, a condutividade térmica de um novo nanofluido formulado a partir da adição de nanopartículas de alumina em óleo sintético poliéster foi investigada. As nanopartículas de (Al_2O_3) foram dispersas em óleo POE com concentrações gravimétricas de 0,10g/L, 0,25g/L, 0,50g/L e 1,00g/L. Os nanofluidos (Al_2O_3/POE) foram submetidos a processos de sonicação ultrassônica com sonda de imersão e agitação magnética rotativa para melhorar a estabilidade. A condutividade térmica foi medida em temperaturas de 20 °C a 50 °C. A condutividade térmica do nanofluido (Al_2O_3/POE) na concentração de 1,00g/L foi ligeiramente maior do que o fluido base (óleo POE) em toda a faixa de temperatura.

Palavras-chave: Refrigeração. Nanofluido. Nanopartículas. Al_2O_3 . Condutividade térmica.

ABSTRACT

This paper explores the use of nanofluids in refrigeration and air conditioning units, focusing on their potential to increase system efficiency. The importance of nanofluids, composed of oil and solid nanoparticles, as effective heat transfer fluids in heat transmission systems is highlighted. In this experimental study, the thermal conductivity of a novel nanofluid formulated from the addition of alumina nanoparticles in synthetic polyester oil was investigated. The (Al_2O_3) nanoparticles were dispersed in POE oil with gravimetric concentrations of 0.10 g/L, 0.25 g/L, 0.50 g/L and 1.00 g/L. The (Al_2O_3/POE) nanofluids were subjected to ultrasonic sonication processes with an immersion probe and rotary magnetic stirring to improve stability. Thermal conductivity was measured at temperatures from 20 °C to 50 °C. The thermal conductivity of the nanofluid (Al_2O_3/POE) at a concentration of 1.00 g/L was slightly higher than that of the base fluid (POE oil) over the entire temperature range.

Keywords: Refrigeration. Nanofluid. Nanoparticles. Al_2O_3 . Thermal Conductivity.

1. INTRODUÇÃO

A alta condutividade térmica de nanopartículas sólidas dispersas em um fluido térmico convencional pode contribuir para a maior eficiência dos processos de transferência de calor em trocadores de calor e certamente é uma alternativa promissora a ser considerada no desenvolvimento de novos permutadores de calor.

O conceito de "nanofluido" compreende uma mistura bifásica constituída basicamente de nanopartículas sólidas em suspensão em um fluido base (óleo lubrificante, água, etilenoglicol, gás refrigerante) que é capaz de conferir ao fluido térmico convencional de referência alto desempenho em processos de transferência de calor.

A primeira geração de nanofluidos, conhecida no meio acadêmico como "nanofluidos" ou "nanofluidos simples", tem sido objeto de intensa pesquisa nas últimas décadas e tem como principal característica o fato de que esses materiais são constituídos de um único tipo de nanopartícula sólida em suspensão em um fluido base.

A segunda geração de nanofluidos, chamada de "nanofluidos híbridos", é uma extensão dos nanofluidos de primeira geração, com a particularidade de ser caracterizada pela adição de duas ou mais nanopartículas dissimilares dispersas em uma base fluida (SAJID E ALI, 2018).

A inclusão de mais de um tipo de nanopartícula no fluido base potencializa a transferência de calor dos nanofluidos híbridos por meio dos efeitos sinérgicos de diferentes nanopartículas sólidas. Além disso, o nanofluido híbrido pode atender a outras demandas da indústria: baixo custo e/ou sustentabilidade.

A presente pesquisa tem como propósito investigar experimentalmente a condutividade térmica de um óleo lubrificante sintético aditivado com nanopartículas de óxidos de alumínio (Al_2O_3 /POE) em diferentes concentrações.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS DO NANOFLUIDO

A Figura 1 mostra o óleo lubrificante sintético poliéster (POE 160PZ) utilizado como fluido base na formulação de amostras de nanofluido, objeto desta pesquisa, sendo produzido pela Danfoss e tem sua principal aplicação na lubrificação de compressores de refrigeração sendo compatível com vários fluidos refrigerantes (R134a R404A, R407C, R410A, R507 e R508B) (BARBOSA JÚNIOR, 2018), (ALMEIDA, 2015).

Figura 1. Características e especificações do óleo sintético POE 160PZ

Property	Specification	Test method
Viscosity at 40 °C	30 – 33 cSt	ASTMD 445
Viscosity at 100 °C	5.5 cSt	ASTMD 445
Density at 15.6 °C	0.989 g/ml	ASTMD 4052
Colour	200	ASTMD 1209
Pour point	-54 °C	ASTMD 97
Flash point	244 °C	ASTMD 93
Dielectric strength at 25 °C	46kV (min)	ASTMD 1816
Acid value (Tan)	0.12 mgKOH/g (max)	ASTMD 974

Fonte: Barbosa Júnior (2018)

De acordo com a literatura especializada, os nanomateriais mais utilizados na formulação de nanofluidos são nanotubos de carbono de parede simples ou múltipla (MWCNTs, SWCNTs), óxidos de alumina ou alumínio (Al_2O_3) e óxidos de titânio (TiO_2), por apresentarem excelente propriedades termofísicas.

A Figura 2 apresenta as principais características das nanopartículas de óxidos de alumínio (Al_2O_3) que foram utilizadas na formulação das amostras de nanofluidos desta pesquisa, sendo fabricadas pela Sigma-Aldrich na forma de nanomateriais seco (BARBOSA JÚNIOR, 2018), (HOLANDA, 2018), (AZEVEDO et al., 2017).

Figura 2. Características e especificações de nanopartículas de óxidos de alumínio (Al_2O_3).

Característica	Al_2O_3
Pureza (%)	99
Cor	Branca
Massa molecular (g/cm^3)	101.96
Diâmetro médio da partícula (nm)	20
Densidade (Kg/m^3)	3,89
Condutibilidade térmica ($W/m.K$)	35
Calor específico ($J/kg.K$)	773
Área superficial específica (m^2/g)	138

Fonte: Barbosa Júnior (2018)

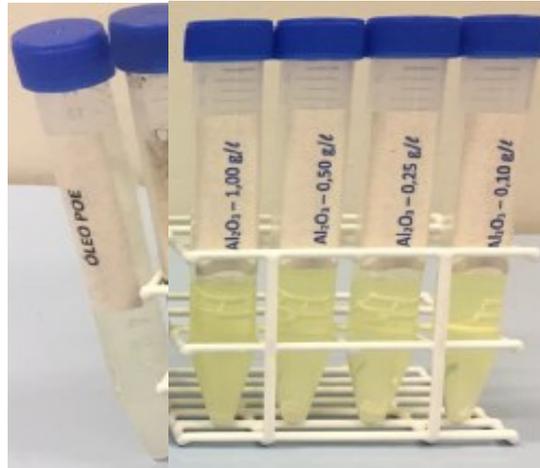
2.2. SÍNTESE DO NANOFLUIDO

Para obtenção das amostras de nanofluido (Al_2O_3/POE) aditivadas com nanopartículas de óxidos de alumínio, objeto desta pesquisa, foi utilizado um método simples e de baixo custo realizado em duas etapas (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2022).

A primeira etapa de obtenção do nanofluido proposto compreende o processo de produção do nanomaterial sólido, isto é, a fabricação das nanopartículas de óxidos de alumínio (Al_2O_3).

A segunda etapa consiste a formulação das amostras de nanofluido ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$) da Figura 3 com diferentes concentrações de nanomateriais, a partir de seus constituintes (nanopartículas de óxidos de alumínio + fluido base) que foram adquiridos no comércio e possui a seguinte sequência de execução:

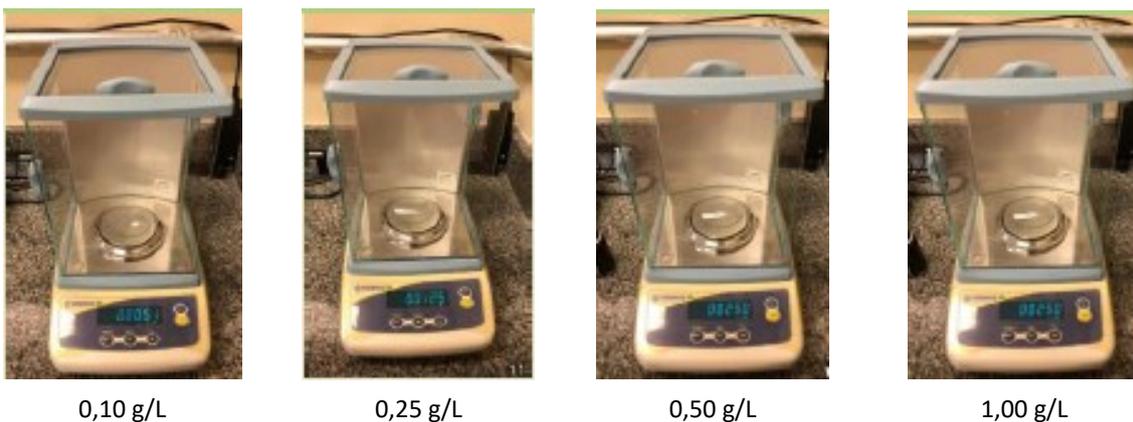
Figura 3. Amostras de nanofluidos ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$) e amostra de fluido base (Óleo POE).



Fonte: Barbosa Júnior *et al.* (2022)

- I. Medição da massa dos nanopós: a massa de nanopartículas de óxidos de alumínio (Al_2O_3), correspondente à concentração em g/L das amostras de nanofluidos, foi medida em balança digital com resolução de 0,0001g (Figura 4);

Figura 4. Medição das massas das nanopartículas para diferentes amostras.



Fonte: Barbosa Júnior *et al.* (2022).

- I. Medição do volume do fluido base: a medição do volume de 100 ml do fluido base (óleo POE 160PZ) foi realizada com micropipeta e becker graduado;

- II. Mistura das nanopartículas de alumina ao fluido base: após a inserção das nanopartículas no fluido base, as nanopartículas de alumina (Al_2O_3) são misturadas ao óleo POE 160PZ com o auxílio de um bastão de vidro;
- III. Desfragmentação de nanomateriais: para atenuar as aglomerações e melhorar a estabilidade das amostras, todas as amostras de nanofluidos foram submetidas a ultrassom de imersão com amplitude de vibração de 10%, com duração de 1 hora;
- IV. Dispersão dos nanomateriais no fluido base: a etapa final da síntese dos nanofluidos foi a dispersão das nanopartículas de alumina no meio líquido (fluido base) por meio de agitador magnético rotativo, com rotação de 450rpm e duração de 24 horas.

2.3. MEDIÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA

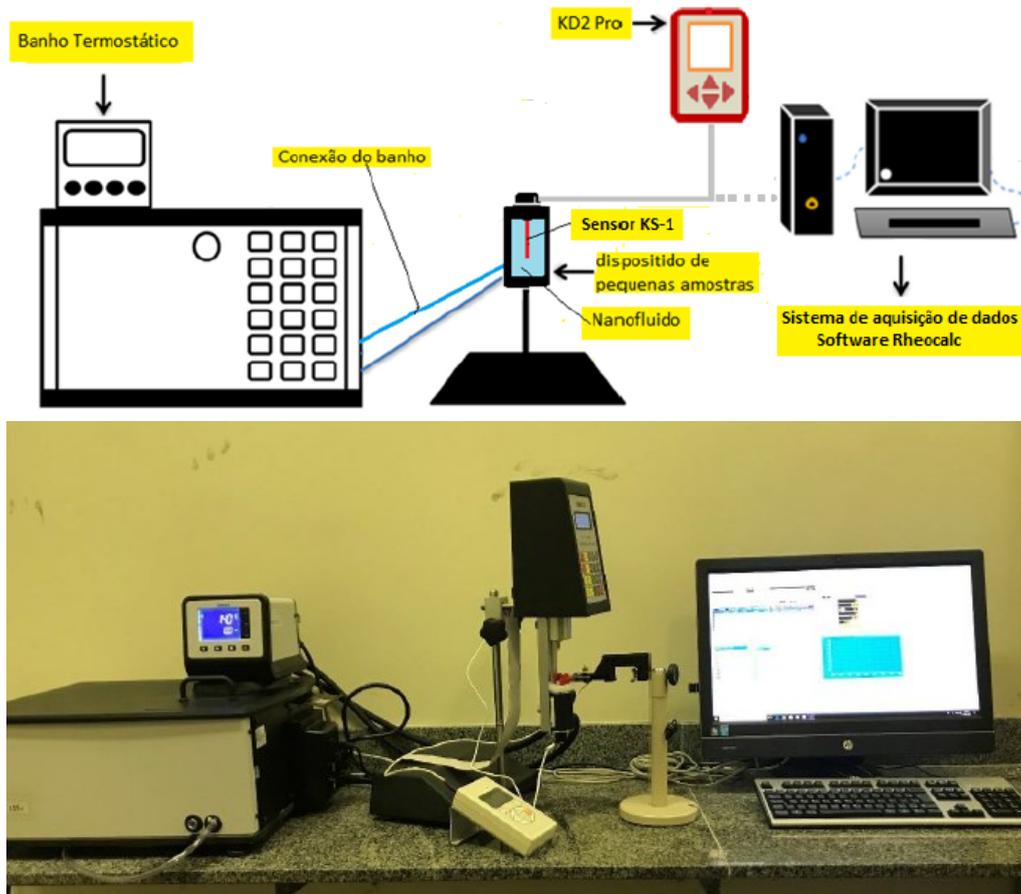
A condutividade térmica das amostras de nanofluidos foi medida experimentalmente usando o método transiente de fio quente. Neste método, um pulso de calor é aplicado a uma agulha e a resposta de temperatura é medida na vizinhança da agulha durante o pulso de calor. (SAJID, M.U. E ALI, H.M, 2018).

A Figura 5 mostra o desenho esquemático da bancada experimental, adaptado de Hamid et al (2018), usado nesta pesquisa para medir a condutividade térmica das amostras de nanofluidos ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$), contendo:

- Analisador de propriedades térmicas KD2 Pro
- Banho termostático modelo TC-550 *Brookfield*
- Dispositivo de amostra pequena SC-13R *Brookfield*
- PC com software Rheocalc *Brookfield*

O analisador de propriedades térmicas KD2 Pro e o sensor KS-1 são calibrados com fluido padrão de referência (glicerina) antes de iniciar cada medição da condutividade térmica do nanofluido conforme instruído e recomendado pelo fabricante do equipamento.

Figura 5. Bancada experimental para medição da condutividade térmica de nanofluidos (a) diagrama esquemático (b) Foto do Equipamento



Fonte: Barbosa Júnior (2018).

O intervalo de temperatura do teste foi programado no software Rheocalc e toda a operação ocorre de forma automática, sendo a aquisição dos dados de condutividade térmica capturada no datalog do KD2 Pro. Posteriormente os dados obtidos e armazenados no datalog são transferidos para uma planilha eletrônica para análise.

O analisador de propriedades térmicas KD2 Pro e o sensor KS-1 da Figura 5 são calibrados com fluido padrão de referência (glicerina), antes de iniciar cada teste de medição da condutividade térmica do nanofluido, conforme instruções e recomendações do fabricante do equipamento.

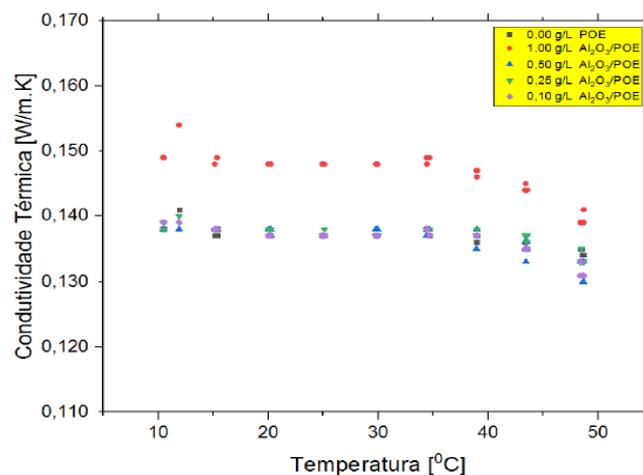
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 6 mostra os valores de condutividade térmica do óleo sintético POE 160PZ e das amostras de nanofluido de óxidos de alumínio (Al_2O_3/POE) com concentrações gravimétricas de 0,10g/L, 0,25g/L, 0,50g/L e 1,00g/L em diferentes temperaturas. A

condutividade térmica de cada uma das amostras de nanofluido testado permaneceu praticamente constante em toda a faixa de temperatura.

Os ensaios de condutividade térmica das amostras de nanofluidos e do óleo POE foram executados com ampla faixa de temperatura entre 10°C e 50°C com incrementos de 5°C, totalizando 11 pontos de medição da temperatura, sendo efetuadas 5 leituras de condutividade térmica em cada ponto, perfazendo 55 medições de temperatura por cada amostra testada.

Figura 6. Bancada experimental para medição da condutividade térmica de nanofluidos (a) diagrama esquemático (b) Foto do equipamento.



Fonte: Barbosa Júnior (2018)

A automação do ensaio de condutividade térmica possibilitou a reprodução do teste de modo igual para todas as amostras de nanofluido, sem a interferência do operador, permitindo aumentar o nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

Analisando a Figura 6, percebe-se facilmente na faixa de temperatura de 10°C a 35°C que a condutividade térmica de cada amostra de nanofluido praticamente se mantém constante e em temperaturas mais elevadas, há uma tendência de redução da condutividade térmica com o aumento da temperatura da amostra do nanofluido. O comportamento normal, segundo a literatura, seria de crescimento da condutividade térmica com o aumento da temperatura.

No gráfico da Figura 6, visualiza-se ainda que, em toda faixa de temperaturas estáveis de medição do instrumento KD2 Pro, isto é, de 10°C e 50°C, que o nanofluido Al₂O₃/POE com 1,00g/L apresenta condutividade térmica superior ao do fluido-base (óleo POE) e aos demais nanofluidos de óxidos de alumínio (0,10g/L, 0,25g/L, 0,50g/L) ensaiados.

Os nanofluidos de alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$) com concentração de 1,00g/L, apresentaram comparativamente em relação ao óleo POE ganho máximo de condutividade térmica de 6,31%, tendo ocorrido na temperatura de 35°C.

4. CONCLUSÕES

Ao término deste estudo experimental sobre nanofluidos aditivados com nanopartículas de óxidos de alumínio ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$) em diferentes concentrações e determinação da condutividade térmica, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- A preparação do nanofluido de alumina proposto pelo método "two-step" usando técnicas de sonicação ultrassônica de imersão e agitação magnética de partículas em suspensão apresentou boas características de estabilidade, retardando a aglomeração e reduzindo a sedimentação das nanopartículas no fluido base;
- A medição da condutividade térmica automática permitiu a reprodução dos testes para todas as amostras de nanofluidos, sem a interferência do operador, permitindo aumentar o nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos;
- Na faixa de temperatura de 10°C a 35°C, a condutividade térmica de cada amostra de nanofluido permaneceu praticamente constante. O comportamento normal, segundo a literatura, seria o aumento da condutividade térmica com o aumento da temperatura;
- Infere-se dos nanofluidos testados uma tendência de intensificar a condutividade térmica com o aumento da concentração de nanopartículas sólidas no fluido base (óleo POE). Essa tendência também é consistente com os dados da literatura;
- Em intervalo de temperatura ensaiada, a condutividade térmica do nanofluido ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{POE}$) com concentração de 1,00g/L foi superior aos valores do fluido base (óleo POE) e aos valores das demais concentrações de nanofluidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos ao PPGEM/UFRN, DEM/UFRN, IFRN e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.M.G., (2015). Análise tribo-termodinâmica da aplicação de nanopartículas de Al_2O_3 como aditivo lubrificante em compressor hermético de refrigeração. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 178p.

- AZEVEDO, V. F.; ALMEIDA, I. M. G.; SOUSA, E. H. V.; FONTES, F. DE A. O.,; BARBOSA, C. R. F. (2017). Caracterização de nanofluidos para utilização em compressores de refrigeração: determinação da viscosidade dinâmica, condutividade térmica e estabilidade. HOLOS, 8, 36–46. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3802>.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F., 2018. Estudo experimental de nanofluido híbrido Al₂O₃-MWCNTs/POE. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F et al. (2022). Experimental investigation of thermal conductivity of hybrid nanofluid MWCNTs-AL₂O₃/POE. In: MERCOFRIO – 130 Congresso Internacional de Ar-Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, Porto Alegre.
- HAMID, K.A., AZMI, W.H., NABIL, M.F., MAMAT, R. AND SHARMA, K.V. Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticles mixture ratios of TiO₂-SiO₂ nanofluids. International Journal of heat and mass transfer. V. 116, p. 1143-1152, 2018.
- HAMZAH, M.H., SIDIK, N.A.C., KEN, T.L., MAMAT, R. AND NAJAFI, G. Factors affecting the performance of hybrid nanofluids: A comprehensive review. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 115, p. 630–646. 2017.
- SAJID, M.U. AND ALI, H.M. Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical review. International journal of heat and mass transfer. V. 126, 211-234. 2018.
- GUPTA, M.; SINGH, V.; KUMAR, R.; SAID, Z. A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 74, p. 638-670, 2017.

ESTUDO EXPERIMENTAL DE LUBRIFICANTE SINTÉTICO ADITIVADO COM NANOTUBOS DE CARBONO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES TRIBOLÓGICAS

EXPERIMENTAL STUDY OF SYNTHETIC LUBRICANT ADDED WITH CARBON NANOTUBES AND EVALUATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-15

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior ¹

Cleiton Rubens Formiga Barbosa ²

Thiago da Silva André ³

Wertson da Silva Resende ⁴

Edilson Marinho da Silva Júnior ⁵

¹ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba– UFPB.

² Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

³ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba– UFPB.

⁴ Graduando do curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

⁵ Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN.

RESUMO

No mundo atual, com o crescente aumento da importância da preservação do meio ambiente, tem-se cada vez mais intensificado os esforços por melhores eficiências energéticas das máquinas. A redução do atrito é uma técnica bastante utilizada para atingir tal objetivo. Neste contexto, o uso de nanomateriais aditivados aos óleos lubrificantes convencionais tem despertado grande interesse da comunidade científica para minimizar o atrito em componentes de máquinas (refrigeradores, motores, compressores, bombas, etc.). Na presente pesquisa propõe-se investigar os efeitos no coeficiente de atrito e desgaste de componentes decorrentes da adição de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) a um óleo lubrificante de poliéster (POE), originalmente desenvolvido para aplicação em compressores de refrigeração. Os (MWCNTs) foram dispersos em óleo POE nas concentrações de 0,10g/L, 0,25g/L, 0,50g/L e 1,00g/L. Em testes de lubricidade HFRR sob mesmas condições, o nanolubrificante (MWCNTs/POE) de 1,00 g/L teve o melhor desempenho tribológico entre todas as amostras de nanolubrificantes testadas, com área de cicatriz de desgaste da esfera de aço (WSD) 3,04% maior quando comparada àquela obtida com o óleo POE.

Palavras-chave: Nanolubrificante. Nanotubos de Carbono. Coeficiente de Atrito. Desgaste. Lubricidade.

ABSTRACT

In today's world, with the increasing importance of preserving the environment, efforts to improve the energy efficiency of machines have increasingly intensified. Friction reduction is a technique widely used to achieve this objective. In this context, the use of nanomaterials added to conventional lubricating oils has aroused great interest in the scientific community to minimize friction in machine components (refrigerators, engines, compressors, pumps, etc.). In the present research, it is proposed to investigate the effects on the coefficient of friction and wear of components resulting from the addition of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) to a polyester lubricating oil (POE), originally developed for application in refrigeration compressors. The (MWCNTs) were dispersed in POE oil at concentrations of 0.10g/L, 0.25g/L, 0.50g/L and 1.00g/L. In HFRR lubricity tests under the same conditions, the 1.00g/L nanolubricant (MWCNTs/POE) had the best tribological performance among all nanolubricant samples tested, with steel ball wear scar area (WSD) 3.04% higher when compared to that obtained with POE oil.

Keywords: Nanolubricant. Carbon Nanotubes. Coefficient of Friction. Wear. Lubricity.

1. INTRODUÇÃO

O atrito é uma das principais causas de perda de eficiência energética em sistemas mecânicos. Normalmente, os elementos da máquina falham em razão do desgaste excessivo. Portanto, uma lubrificação mais eficiente é essencial para aumentar a eficiência do uso de energia e a confiabilidade dos sistemas mecânicos.

Neste contexto, a adição de nanomateriais aos óleos lubrificantes comerciais pode melhorar a qualidade das suas propriedades tribológicas, reduzindo o atrito e o desgaste e aumentando a vida útil de componentes mecânicos. A literatura especializada tem relatado numerosos exemplos de características antifricção e antidesgaste melhoradas de uma variedade de nanomateriais usados como aditivos lubrificantes, incluindo metais, óxidos metálicos, não metais e assim por diante.

A maioria dos estudos mostra que a adição de nanopartículas aos lubrificantes pode melhorar significativamente o desempenho da lubrificação, reduzindo tanto o atrito como o desgaste, permitindo assim uma maior capacidade de carga.

Mecanismos incluindo adsorção de superfície, penetração em asperezas e reação triboquímica para reduzir o desgaste, bem como efeito de tamanho, efeito coloidal, esfoliação, película protetora e efeito de terceiro corpo para reduzir o atrito, têm sido propostos para explicar o desempenho superior de lubrificantes aditivados com nanopartículas.

Bonu *et al.* (2016) relatam que a lubrificação com nanolubrificantes é uma nova abordagem para melhorar a eficiência energética de interfaces deslizantes, o que é útil para reduzir o atrito e o desgaste dos elementos da máquina. Eles estudaram a adição de óleo POE com nanopartículas de óxido de 25nm (SnO_2) e concentração de 0,03mg/ml, que mostraram redução significativa no coeficiente de atrito e desgaste de até 38% e 42%, respectivamente, em comparação com óleo sintético puro. Esses pesquisadores ainda são categóricos ao afirmar que a eficiência da lubrificação depende do tamanho dos NPs, da estabilidade da dispersão e da concentração das nanopartículas em suspensão no óleo lubrificante.

Vakis *et al.* (2018) publicaram uma revisão com recentes desenvolvimentos no campo da tribologia envolvendo vários fenômenos físicos, químicos e mecânicos em diferentes escalas. Eles investigaram a natureza multifísica das interações no tribo-sistema onde os seguintes tipos de fenômenos podem ocorrer na interface tribológica ou em sua vizinhança

imediate: mecânicos (sólidos e fluidos), térmicos, eletromagnéticos, metalúrgicos, quânticos e outros.

Alves *et al.* (2018) em pesquisa experimental com óleo PAO aditivado com nanopartículas de óxido de cobre (CuO) mostraram que é possível reduzir o coeficiente de atrito ou desgaste utilizando esses nanomateriais.

Atualmente existem diferentes métodos para determinar a lubricidade de um óleo lubrificante disponíveis no mercado. O método de avaliação da lubricidade por meio de sonda de deslocamento alternado de alta frequência (método HFRR) é um dos mais utilizados pelos pesquisadores.

Farias *et al.* (2011) relatam que lubricidade é um termo qualitativo que descreve a capacidade de um fluido afetar o atrito entre superfícies sob carga e com movimento relativo, bem como o desgaste nessas superfícies.

O método de lubricidade HFRR (*High Frequency Reciprocating Rig*) simula o regime de lubrificação limítrofe da curva de Stribeck para avaliar a capacidade do óleo lubrificante de reduzir o atrito e o desgaste do par tribológico resultante da substituição do contato seco pelo contato fluido, entre duas superfícies sólidas em movimento relativo.

1.1. OBJETIVOS

A presente pesquisa experimental teve como objetivos a síntese de lubrificante aditivado com diferentes concentrações de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) e a determinação da sua lubricidade em tribômetro HFRR.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Muitos pesquisadores têm destacado a maior capacidade de nanolubrificantes com relação à redução e desgaste de pares tribológicos contribuindo para melhoria da eficiência energética e aumento da vida útil de máquina e equipamentos nos segmentos comercial e industrial, em comparação com lubrificantes convencionais (BONU *et al.*, 2016).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS DO NANOLUBRIFICANTE

A Figura 1 mostra o óleo lubrificante sintético poliéster (POE 160PZ) utilizado como fluido base na formulação de amostras de nanofluido, objeto desta pesquisa, sendo produzido pela Danfoss e tem sua principal aplicação na lubrificação de compressores de refrigeração

sendo compatível com vários fluidos refrigerantes (R134a R404A, R407C, R410A, R507 e R508B) (BARBOSA JÚNIOR, 2018), (ALMEIDA, 2015).

Figura 1 - Características e especificações do óleo sintético POE 160PZ.

Property	Specification	Test method
Viscosity at 40 °C	30 – 33 cSt	ASTMD 445
Viscosity at 100 °C	5.5 cSt	ASTMD 445
Density at 15.6 °C	0.989 g/ml	ASTMD 4052
Colour	200	ASTMD 1209
Pour point	-54 °C	ASTMD 97
Flash point	244 °C	ASTMD 93
Dielectric strength at 25 °C	46kV (min)	ASTMD 1816
Acid value (Tan)	0.12 mgKOH/g (max)	ASTMD 974

Fonte: Barbosa Júnior (2018).

De acordo com a literatura especializada, os nanomateriais mais utilizados na formulação de nanofluidos são nanotubos de carbono de parede simples ou múltipla (MWCNTs, SWCNTs), óxidos de alumina ou alumínio (Al_2O_3) e óxidos de titânio (TiO_2), por apresentarem excelente propriedades termofísicas.

A Figura 2 apresenta as principais características dos nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) que foram utilizados na formulação das amostras de nanolubrificantes desta pesquisa, sendo fabricados pela *Nanostructured & Amorphous Materials* na forma de nanomateriais seco, com emprego da técnica de deposição química de vapor (CVD) (BARBOSA JÚNIOR, 2018), (HOLANDA, 2018), (AZEVEDO *et al.*, 2017).

Figura 2 - Características e especificações de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs).

Characteristics	MWCNTs
Purity (%)	97
Color	Black
Molecular mass (g/cm^3)	101.96
Average particle diameter (nm)	20-40
Tube length (μm)	50
Density (Kg/m^3)	2,10
Thermal conductivity (W/m.K)	4000
Specific heat (J/Kg.K)	773
Specific surface área (cm^2/g)	223

Fonte: Barbosa Júnior (2018).

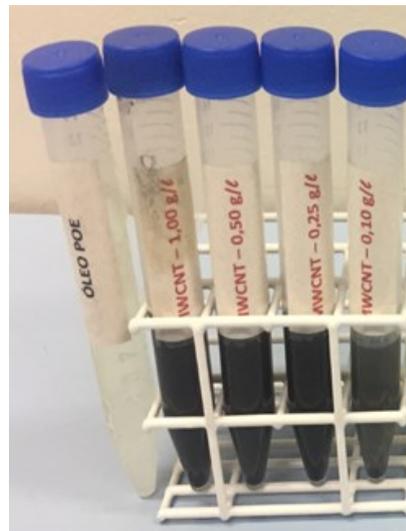
2.2. SÍNTESE DO NANOFLUIDO

Para obtenção das amostras de nanolubrificante aditivado com nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs/POE), objeto desta pesquisa, foi empregado um método simples e de baixo custo realizado em duas etapas. (BARBOSA JÚNIOR *et al.*, 2022).

A primeira etapa de obtenção do nanolubrificante proposto compreende o processo de produção do nanomaterial sólido, isto é, a fabricação dos nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs).

A segunda etapa consiste a formulação das amostras de nanolubrificante (MWCNTs/POE) da Figura 3 com diferentes concentrações de nanomateriais, a partir de seus constituintes (nanotubos de carbono de paredes múltiplas + fluido base) que foram adquiridos no comércio e possui a seguinte sequência de execução:

Figura 3. Amostras de nanolubrificantes (MWCNTs/POE) com diferentes concentrações de (MWCNTs) e amostra de fluido base (Óleo POE).



Fonte: Barbosa Júnior (2018).

- Medição da massa dos nanopós: a massa de nanotubos de carbono (MWCNTs), correspondente à concentração em (g/L) das amostras de nanolubrificantes, foi medida em balança digital com resolução de 0,0001g;
- Medição do volume do fluido base: a medição do volume de 100 ml do fluido base (óleo POE 160PZ) foi realizada com micropipeta e becker graduado;
- Mistura dos nanotubos de carbono ao fluido base: após a inserção dos nanotubos no fluido base, os nanotubos (MWCNTs) são misturadas ao óleo POE 160PZ com o auxílio de um bastão de vidro;
- Desfragmentação de nanomateriais: para atenuar as aglomerações e melhorar a estabilidade das amostras, todas as amostras de nanolubrificantes foram submetidas a ultrassom de imersão com amplitude de vibração de 10%, com duração de 1 hora;

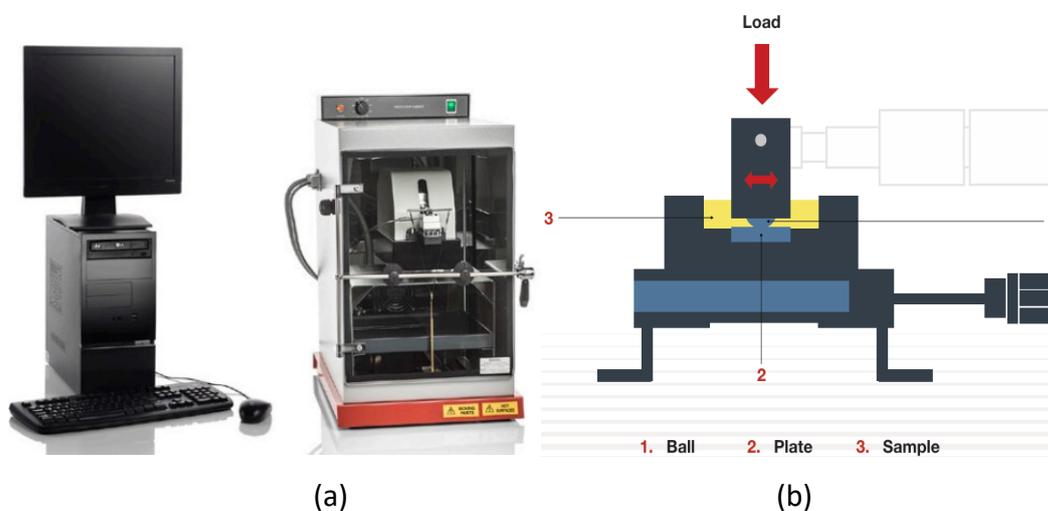
- Dispersão das nanomateriais no fluido base: a etapa final da síntese dos nanolubrificantes foi a dispersão dos nanotubos de carbono no meio líquido (fluido base) por meio de agitador magnético rotativo, com rotação de 450 rpm e duração de 24 horas.

2.3. TESTE DE LUBRICIDADE HFRR

Com base nas normas ASTM D6079-99 e ISO 12156-1:1997 são estabelecidas as especificações e as características geométricas, dimensionais e os materiais do par tribológico (esfera/placa) para realização dos testes de lubricidade HFRR das amostras dos nanolubrificantes.

A esfera e a placa (par tribológico) de aço são inseridas, respectivamente, nos suportes superior e inferior do tribômetro HFRR da Figura 4. A amostra de nanolubrificante é adicionada na cuba do suporte inferior e aplicada a carga do teste. As demais condições do teste de lubricidade HFRR são definidas pelo usuário via software do tribômetro.

Figura 4 - Tribômetro HFRR: (a) Foto do equipamento (b) Diagrama esquemático (c) Especificações (d) Par tribológico e suportes.



Technical Specification

Operating Conditions

Frequency	10 to 200 Hz
Stroke Length	20 to 2.0 mm
Load	0.1µm to 1.0 kg with supplied weights
Maximum Friction Force	Dependent on amplitude—maximum 10.0 N
Temperature	Ambient to 150°C (400°C with high power heater option)
Standard upper specimen	6.0 mm diameter ball
Standard lower specimen	10.0 mm diameter x 3.0 mm thick disc

Electrical

Mains power	Universal (100–230 V), 50/60 Hz 80 VA
Heaters	Two 24 V, 15 Watt cartridge heaters



(c)

(d)

Fonte: Barbosa Júnior (2018).

Durante um teste de lubricidade pelo método HFRR, a esfera de aço (corpo de prova) é friccionada contra a placa (contra corpo) e a força de atrito é mensurada usando um conversor de força piezoelétrico e registrada pelo software. Ao final do teste, a área da cicatriz de desgaste na esfera de aço é medida para determinação da lubricidade da amostra do nanolubrificante.

Durante o teste HFRR, a esfera de aço duro desliza contra o disco de aço macio com curso de 1,00 mm a uma frequência de 20Hz e velocidade de deslizamento de 0,01m/s durante 1 hora.

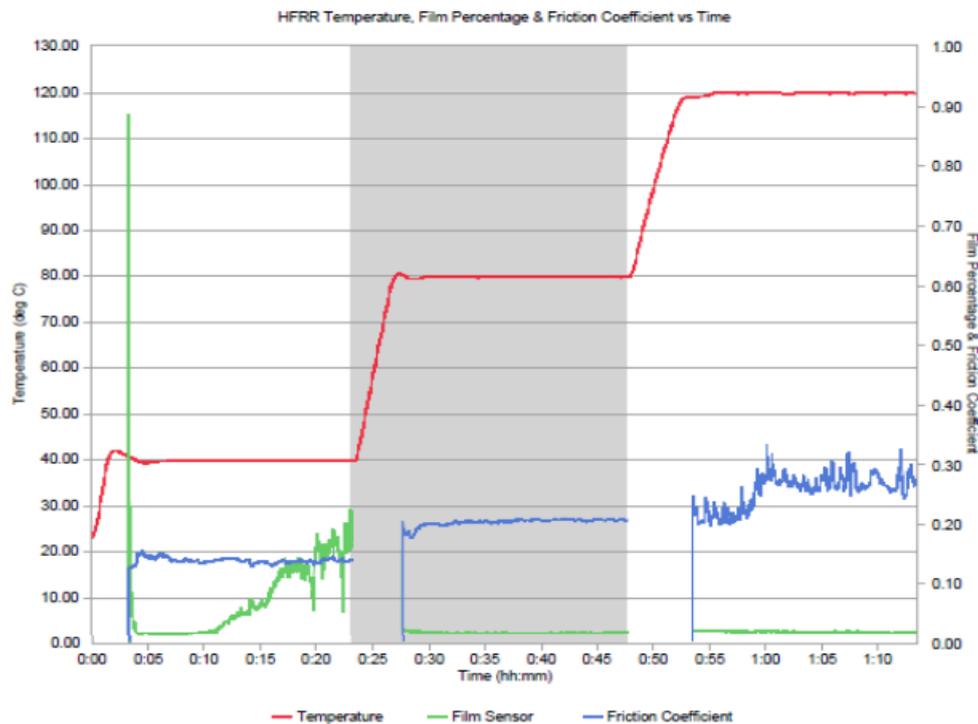
O par tribológico (esfera/placa) são totalmente submersos em 2,0ml de amostra do nanolubrificante com carga normal de 2N. A temperatura do nanolubrificante é mantida praticamente constante em 50°C durante o teste de lubricidade HFRR.

A lubricidade de cada amostra de nanolubrificante testado foi analisada em função dos valores médios do coeficiente de atrito e da área da cicatriz de desgaste da esfera de aço (WSD).

As superfícies de contato do par tribológico (esfera/disco) foram imersas integralmente na amostra de fluido de teste (nanolubrificante ou óleo POE).

O teste de lubricidade se desenvolve de forma totalmente automática e os parâmetros de desempenho (coeficiente de atrito, espessura do filme do nanolubrificante de teste, temperatura de contato etc.) são exibidos na tela do PC do tribômetro HFRR para monitoramento, em tempo real, das variáveis de interesse, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Parâmetros do teste de lubricidade HFRR com monitoramento em tempo real.



Fonte: Barbosa Júnior (2018).

O coeficiente de atrito e a espessura do filme foram coletados a uma taxa de 1 segundo através do sistema de aquisição de dados do tribômetro e a cicatriz de desgaste da esfera (WSD) medida após o término do teste de lubricidade HFRR.

Para tanto, a esfera de aço é removida e limpa após o término do teste HFRR para mensuração da área da cicatriz de desgaste (WSD) com auxílio de um microscópio óptico com ampliação de 100X, com base na média dos diâmetros da cicatriz de desgaste nas direções dos eixos X e Y.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

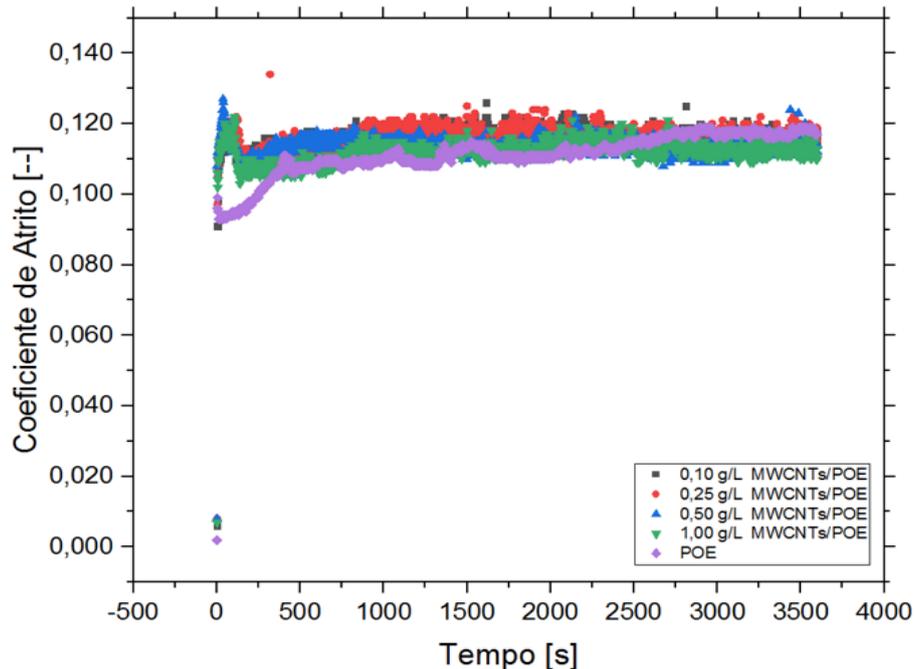
O coeficiente de atrito e o WSD foram os parâmetros utilizados para avaliar a lubricidade do fluido base (óleo POE) e das amostras dos nanolubrificantes com diferentes concentrações de nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs).

A automação do teste de lubricidade HFRR possibilitou a reprodução do teste igualmente para todas as amostras de nanolubrificantes, sem interferência do operador, permitindo aumentar o nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos.

A Figura 6 mostra que o gráfico do coeficiente de atrito dos nanolubrificantes e óleo POE versus tempo assume a forma de uma “nuvem” de pontos. Este aspecto de nuvem é

causado pela grande densidade de pontos representados no gráfico para cada nanolubrificante testado.

Figura 6. Gráfico do Coeficiente de atrito dos nanolubrificantes (MWCNTs/POE) com concentração de 0,10g/L, 0,25g/L, 0,50 g/L, 1,00g/L e do fluido base (óleo POE) versus tempo.



Fonte: Barbosa Júnior (2018).

Foram obtidas 3.600 leituras do coeficiente de atrito para cada amostra de nanolubrificante em 01 hora de teste. Na Figura 6 é observado que em todos os testes de lubricidade do HFRR, o coeficiente de atrito dos nanofluidos apresentou tendência de crescimento suave com o tempo.

Analisando a Figura 6, observa-se claramente nos instantes iniciais do ensaio de lubricidade HFRR uma maior instabilidade (dispersão) dos valores do coeficiente de atrito para todas as amostras de nanolubrificante inclusive do fluido base. Esta instabilidade é muito comum de ocorrer pois durante a fase de “*running*” apresenta elevado grau de transição.

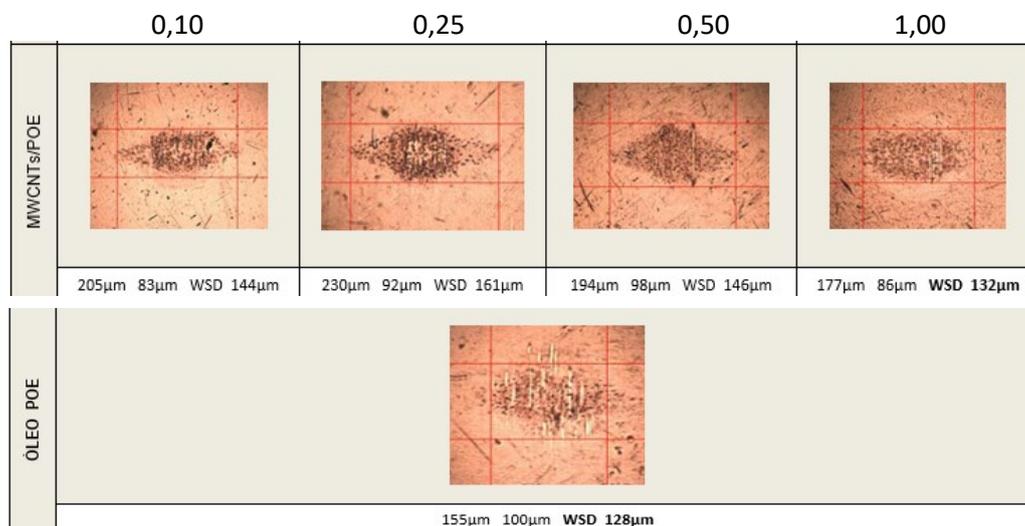
A partir do instante de tempo de 500s, verifica-se maior estabilidade nos valores do coeficiente de atrito de todos os nanolubrificantes, e uma leve tendência de crescimento dos valores do coeficiente de atrito na medida em que o tempo de teste avança.

Comparando os valores do coeficiente de atrito dos nanolubrificantes e do óleo POE, no gráfico da Figura 6, pode-se observar também que praticamente até o instante de tempo 2500s, o óleo POE apresenta menores coeficientes de atrito comparativamente aos nanolubrificantes testados.

Mas a partir do instante de tempo 2500s, os valores do coeficiente de atrito dos nanolubrificantes com concentração de 0,50g/L e 1,00g/L são ligeiramente menores em relação ao óleo POE, indicando uma provável tendência de melhoria das condições de lubrificação do par tribológico em decorrência da adição dos nanotubos de carbono ao óleo POE.

A Figura 7 mostra imagens das menores cicatrizes de desgastes (WSD) das esferas de aço obtidas em microscópio óptico do tribômetro HFRR com ampliação de 100X, durante os testes dos nanolubrificantes de (MWCNTs/POE) de diferentes concentrações e do fluido base (óleo POE).

Figura 7. Imagens das áreas das cicatrizes de desgaste (WSD) da esfera de aço dos testes de lubricidade HFRR de amostras dos nanolubrificantes (MWCNTs/POE) e do óleo POE.



Fonte: Barbosa Júnior (2018).

O nanolubrificante com concentração de 1,00g/L apresentou a menor cicatriz de desgaste na superfície da esfera com WSD de 132µm. O óleo POE apresentou cicatriz de desgaste da esfera de aço com WSD de 128µm, sendo este o menor WSD obtido comparativamente aos demais nanolubrificantes testados nas mesmas condições.

No teste HFRR, o óleo POE apresentou a menor cicatriz de desgaste da esfera de aço e até 2500 segundos obteve também os menores coeficientes de atrito comparativamente aos nanolubrificantes testados.

4. CONCLUSÕES

Ao final deste estudo experimental sobre lubrificante (óleo POE) de compressores de refrigeração aditivado com nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNTs) em

diferentes concentrações e determinação da lubricidade pelo método HFRR, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- A preparação das amostras de nanolubrificantes propostos pelo método de "duas etapas" utilizando técnicas de sonicação ultrassônica de imersão e agitação magnética de partículas suspensas proporcionou boas características de estabilidade, retardando a aglomeração e reduzindo a sedimentação das nanopartículas no fluido base;
- A automação do teste de lubricidade HFRR assegura a repetição dos testes sob mesmas condições para todas as amostras de nanolubrificante, sem interferência do operador, garantindo dessa forma maior nível de confiabilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos;
- Após 2500 segundos do teste de lubricidade HFRR, os nanolubrificantes com concentração de 1,0g/L e 0,5g/L apresentaram menores coeficientes de atrito em comparação ao fluido base (óleo POE);
- Em ensaios HFRR sob mesmas condições, o nanolubrificante com concentração de 1,0g/L obteve o melhor desempenho tribológico entre todas as amostras de nanolubrificantes testadas, uma vez que apresentou menores coeficientes de atrito e menores áreas de cicatriz de desgaste (WSD) na superfície da esfera de aço;
- Finalmente, nos testes HFRR sob condições idênticas, o fluido base (óleo POE) registrou menores cicatrizes de desgaste (WSD) na superfície da esfera de aço do que aqueles obtidos com os nanolubrificantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos ao PPGEM/UFRN, DEM/UFRN, IFRN e a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo apoio a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I.M.G., (2015). Análise tribo-termodinâmica da aplicação de nanopartículas de Al_2O_3 como aditivo lubrificante em compressor hermético de refrigeração. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 178p.
- ALVES, SALETE; MELLO, VALDICLEIDE; FARIA, EDÁLIA; CAMARGO, A.P.P. (2016). *Nanolubricants developed from tiny CuO nanoparticles. Tribology International*. 100. 10.1016/j.triboint.2016.01.050.

- AZEVEDO, V. F.; ALMEIDA, I. M. G.; SOUSA, E. H. V.; FONTES, F. DE A. O.,; BARBOSA, C. R. F. (2017). Caracterização de nanofluidos para utilização em compressores de refrigeração: determinação da viscosidade dinâmica, condutividade térmica e estabilidade. *HOLOS*, 8, 36–46. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.3802>.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F., (2018). Estudo experimental de nanofluido híbrido Al₂O₃-MWCNTs/POE. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 95p.
- BARBOSA JÚNIOR, C.R.F et al. (2022). *Experimental investigation of thermal conductivity of hybrid nanofluid MWCNTs-AL₂O₃/POE*. In: MERCOFRIO – 130 Congresso Internacional de Ar-Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, Porto Alegre.
- BONU, VENKATARAMANA; DAS, ARINDAM; SITARAM, DASH; TYAGI, ASHOK KUMAR. (2016). *Enhanced Lubricity of SnO₂ Nanoparticles Dispersed Polyolester Nanofluid*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 55. 10.1021/acs.iecr.5b03506.
- FARIAS, A. M., SANTANA, J. S., OLIVEIRA FILHO, M. F., SANTANA, J. S., BARBOSA, C. R. F., MEDEIROS, J. T. N. (2011). Os combustíveis verdes do brasil - avaliação da lubrificidade do biodiesel b5 e óleos de mamona e coco. *HOLOS*, 3, 3–17. <https://doi.org/10.15628/holos.2011.453>.
- HOLANDA, R.A., (2018). Avaliação experimental de nanolubrificante híbrido composto de Al₂O₃ e grafite. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 130p.
- VAKIS, ANTONIS et al. (2018). *Modeling and simulation in tribology across scales: An overview*. *Tribology International*. 125. 10.1016/j.triboint.2018.02.005.

CAPÍTULO XVI

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO AGREGADO RECICLADO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RECYCLED AGGREGATE ON THE COMPRESSION RESISTANCE OF PERMEABLE CONCRETE

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-16

Alexandra de Oliveira França Hayama ¹

Mateus Henrique Delcico Rezende ²

Gabriel Borges Matos ³

Izabela de Lima Oliveira ⁴

Aguinaldo Soares de Oliveira ⁵

¹ Professora Associada do Curso de Engenharia Mecânica. Doutora em Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Rondonópolis - UFR

² Graduando em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Rondonópolis - UFR

³ Graduando em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Rondonópolis - UFR

⁴Engenheira Mecânica. Especialista em Gestão Estratégica da Administração Pública. Universidade Federal de Rondonópolis – UFR

⁵Professor Associado do Curso de Engenharia Mecânica. Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Rondonópolis – UFR

RESUMO

Como consequência do crescente desenvolvimento urbano apresentado por muitas cidades do país são originados muitos resíduos, entre eles os relacionados à construção civil. Os resíduos da construção civil (RCC) são divididos em quatro classes (A, B, C, D), os resíduos da classe A podem ser reciclados na forma de agregados e absorvidos pela própria construção civil, sendo o agregado um material granular sem forma definida. O concreto permeável é um material compósito, que possui estrutura de vazios interligados, que permite a percolação da água, normalmente é composto por cimento, água e agregado graúdo, retirado da natureza. É possível substituir em partes o agregado natural pelo reciclado, mas para isso é necessário realizar estudos para saber a sua influência quando utilizado na fabricação do concreto permeável, a fim de determinar qual a quantidade de agregado reciclado pode ser utilizado em substituição ao natural. Diante do exposto, o propósito deste trabalho é estudar a resistência à compressão do concreto permeável mediante substituição de parte do agregado natural pelo reciclado, considerando 28 dias de cura úmida e tendo o concreto fabricado com o agregado natural como referência. Além disso, foi realizado o teste de abatimento do

concreto (*Slump* Teste) e utilizada microscopia óptica na análise da interface matriz-partícula. Os principais resultados mostram que a resistência à compressão varia de acordo com a quantidade de agregado reciclado utilizado em substituição ao natural e que a interface matriz-partícula apresenta boa adesão, mesmo tendo fissuras em algumas regiões.

Palavras-chave: Concreto permeável. Agregado reciclado. Percolação.

ABSTRACT

As a consequence of the growing urban development presented by many cities in the country, a lot of waste is generated, including that related to civil construction. Civil construction waste (RCC) is divided into four classes (A, B, C, D), class A waste can be recycled in the form of aggregates and absorbed by the construction industry, with the aggregate being a shapeless granular material defined. Permeable concrete is a composite material, which has a structure of interconnected voids, which allows water to percolate. It is normally composed of cement, water and coarse aggregate, taken from nature. It is possible to partially replace the natural aggregate

with the recycled one, but for this it is necessary to carry out studies to find out its influence when used in the manufacture of permeable concrete, in order to determine how much recycled aggregate can be used to replace the natural one. In view of the above, the purpose of this work is to study the compressive strength of permeable concrete by replacing part of the natural aggregate with recycled aggregate, considering 28 days of wet curing and taking the concrete manufactured with natural aggregate as a reference. Furthermore, the

concrete Slump Test was carried out and optical microscopy was used to analyze the matrix-particle interface. The main results show that the compressive strength varies according to the amount of recycled aggregate used to replace the natural one and that the matrix-particle interface has good adhesion, even with cracks in some areas.

Keywords: Permeable concrete. Recycled aggregate. Percolation.

1. INTRODUÇÃO

A expansão das cidades tem consequências tanto positivas quanto negativas. Como consequência positiva pode-se citar o aumento do fluxo econômico em vários setores da sociedade, entre eles o setor comercial e o industrial. Entre as consequências negativas que são observadas tem-se a impermeabilização do solo, que causa acúmulo de água das chuvas, tendo como consequência enchentes, além de impactos econômicos e sociais. Outra consequência negativa a se considerar é a geração de grande volume de resíduos sólidos, entre tais resíduos têm-se os ligados à construção civil, que segundo Santos (2012), podem causar impactos ambientais se não forem tratados adequadamente.

Os principais impactos ambientais dos resíduos da construção civil (RCC) estão relacionados ao seu depósito irregular e tem como característica típica a união de efeitos deteriorantes do ambiente local. Esses efeitos se multiplicam pelo espaço urbano e são nos bairros periféricos, ocupados pela população de menor renda, que são mais sentidos (PINTO, 1999).

O depósito irregular dos RCC ao longo dos cursos d'água pode causar obstrução no sistema de drenagem superficial e a obstrução de córregos, o que gera um ambiente propício a enchentes. Esses depósitos incorretos levam a uma constante necessidade de desobstrução do sistema de drenagem. Ainda, os RCC podem conter substâncias perigosas, como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados a madeiras tratadas, sulfatos provenientes da dissolução de gesso entre outros, agravando o impacto da contaminação do solo, água e ar (DEGANI, 2003).

Além da impermeabilização do solo causada pelo uso excessivo de materiais impermeáveis, como o asfalto, verifica-se também que muitos municípios crescem de forma desordenada, não sendo considerados projetos adequados para o sistema de drenagem

urbana (TUCCI, 2007), que muitas vezes não são capazes de suportar a demanda causada pelo excesso do volume de água, assim como pelo entupimento dos sistemas de escoamento, devido a presença de resíduos sólidos que acabam sendo levados pelas enxurradas e os obstruindo. Esses fatores evidenciam a necessidade de adotar medidas sustentáveis que visam contribuir na solução de problemas como os citados.

Uma forma de diminuir a impermeabilização do solo é utilizando o concreto permeável, que é uma tecnologia que pode contribuir positivamente para o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas (BALDO, 2020). *American Concrete Institute* (2010), define o concreto permeável, como um tipo de concreto especial altamente poroso, confeccionado de maneira a proporcionar vazios interconectados, tornando-o extremamente permeável, atribuindo-o a capacidade de permitir a rápida passagem da água. Para tanto também define a sua composição como sendo formado por cimento Portland, agregado graúdo de tamanho uniforme e água, a fim de proporcionar os vazios necessários à ocorrência da percolação.

Segundo Benevenuto (2018), o concreto permeável pode ser utilizado em estacionamentos, calçadas, pátios, praças, ruas com baixo tráfego de veículos leves, ciclovias, entre outros, porém, não é recomendado para locais de circulação de veículos pesados ou locais com tráfego intenso, pois este tipo de concreto normalmente não atinge altos valores de resistência mecânica.

Por conseguinte, sabe-se que a urbanização acelerada acarreta em um consequente crescimento do setor construtivo, de maneira que se tem uma elevada geração de RCC, provenientes de novas construções, reformas e demolições, no qual grande parte desses resíduos é composto por materiais como argamassas, tijolos, alvenaria, concreto, cerâmica, telha etc. Os RCC podem passar por um processo de beneficiamento, gerando agregado graúdo reciclado, podendo ser utilizado, por exemplo, na confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base e pavimentos (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

Portanto, o uso de RCC na confecção de concreto permeável se mostra de grande valia, mas para tanto é necessário realizar um estudo aprofundado da porcentagem adequada de substituição do agregado natural por este, de modo que o concreto permeável confeccionado com agregado reciclado apresente resistência mecânica adequada para a aplicação a qual se destina, assim como porosidade que permita a percolação da água.

Neste contexto, o propósito deste trabalho é substituir em partes o agregado natural pelo reciclado, proveniente dos RCC, na confecção do concreto permeável, que possua resistência à compressão compatível com a utilização em pavimentos de circulação leve, como calçadas e ciclovias. Dessa forma, procura-se promover o desenvolvimento sustentável, com a utilização de um material que seria descartado no meio ambiente, assim como amenizar os impactos negativos provenientes da alta impermeabilização do solo, tendo como consequência a diminuição da sobrecarga dos sistemas de drenagem.

2. METODOLOGIA

Para confecção dos corpos de prova (CDPs) para ensaio de compressão uniaxial foi utilizado, cimento Portland CP II-F, agregado graúdo (natural e reciclado) e água. Os dois tipos de agregado utilizados passaram pelo processo de classificação por peneiramento manual, a fim de garantir a padronização referente ao tamanho dos mesmos, sendo considerada a faixa granulométrica da brita zero, que de acordo com Chagas (2019), vai de 4,75 mm a 9,5 mm.

Foram confeccionados CDPs contendo 100% de agregado natural (AN), 100% de agregado reciclado (AR), sendo as demais composições analisadas obtidas variando as proporções de AN e AR, correspondendo a: 90%AN+10%AR; 80%AN+20%AR; 70%AN+30%AR; 60%AN+40%AR; 50%AN+50%AR; 40%AN+60%AR; 30%AN+70%AR; 20%AN+80%AR e 10%AN+90%AR.

O traço utilizado foi de 1:4:0,48, o que proporcionou plasticidade à mistura, permitindo sua moldagem de forma adequada. As porcentagens de cimento e água permaneceram fixas na mistura. Considerando o traço citado tem-se a seguinte composição do concreto permeável confeccionado: 1 kg de cimento, 4 kg de agregado graúdo (brita) e 0,480 kg de água.

O primeiro ensaio realizado foi o do abatimento do concreto, estando de acordo com o disposto na NBR NM 67 (ABNT, 1998). Tal ensaio foi executado considerando todas as composições estudadas. Para isso o molde (cone) foi posicionado em cima da placa metálica, ambos umedecidos previamente com água, em seguida o operador posicionou os pés nos apoios do molde a fim de mantê-lo estável durante o procedimento. A etapa de enchimento foi realizada em três camadas, sendo elas preenchidas com aproximadamente um terço da altura do cone e adensadas com 25 golpes com uma haste de metal, garantindo o preenchimento do cone e evitando vazios. Feito o enchimento e removido o excesso de

concreto da superfície do cone, o mesmo foi levantado cuidadosamente na direção vertical, em um tempo de 5 a 10 segundos, sendo todo o procedimento realizado sem interrupções. Em seguida o abatimento foi medido utilizando uma trena, colocando o cone ao lado do concreto abatido e usando a haste metálica colocada em cima do cone como parâmetro para a medição.

Para a realização dos ensaios de compressão uniaxial foram confeccionados 3 CDPs de cada composição analisada, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Na moldagem dos CDPs foram usados moldes poliméricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, da marca Aditec, modelo F-10, tendo o corpo bipartido. Os moldes foram preenchidos em duas camadas e o adensamento manual feito com aplicação de 12 golpes por camada.

O processo de cura dos CDPs foi realizado em duas etapas, cura inicial a seco e cura úmida, seguindo as orientações da norma NBR 5738 (ABNT, 2015). Em primeiro momento após a moldagem dos CDPs, estes passaram pelo processo de cura inicial (seca), no qual ficaram sobre uma superfície rígida e plana dentro de uma caixa de isopor, garantindo um ambiente controlado e protegido de intempéries e evitando a perda de água do concreto. Após 24 horas de cura seca, os CDPs foram retirados dos moldes, identificados e então colocados em um recipiente com água saturada com hidróxido de cálcio (cal), no qual permaneceram nesta condição por 28 dias, sendo esta identificada como cura úmida. A norma também dispõe que a temperatura da água deve estar a 23°C com uma margem de $\pm 2^\circ\text{C}$. Sendo assim, durante todo o processo de cura úmida a temperatura da água saturada com cal foi medida, obtendo-se temperatura média de $24 \pm 1^\circ\text{C}$.

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). Para o ensaio foi utilizada uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL60000, com carga máxima de 600KN. Ao fim do ensaio obteve-se o valor da resistência à compressão (F_c), neste caso o equipamento utilizado, mediante a utilização do *software*, já informa esse resultado. Porém, o valor também pode ser calculado pela Equação I, utilizando a força máxima alcançada, fornecida pela norma que rege o ensaio.

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Eq. I})$$

Onde: f_c = Resistência à compressão (MPa);

F = Força máxima alcançada (N);

D = Diâmetro dos CDPs (mm).

Imediatamente após serem retirados da água saturada com cal, os CDPs foram medidos, considerando o diâmetro e a altura dos mesmos, e levados à máquina universal de ensaios, onde a carga foi aplicada até a ruptura.

A NBR 5739 (ABNT, 2018), também expõe que se necessário, deverá ser utilizado um fator de correção em função da relação altura/diâmetro (h/d) do CDP, no qual, para uma relação h/d menor que 1,94 é necessário multiplicar o valor da força máxima alcançada expressa em newtons (N) pelo fator de correção correspondente ao h/d obtido. No presente estudo não foi necessário utilizar tal fator de correção.

Após a ruptura dos CDPs, foram recolhidas amostras de todas as composições estudadas, sendo aguardada a secagem natural, para ser na sequência serem observadas no microscópio óptico, onde foi analisada a interface matriz-partícula, para verificação do grau de ligação entre elas. Para isso foi utilizado um microscópio óptico da marca Leica, modelo DM750M.

3. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho.

3.1. RESULTADO DOS ENSAIOS DE ABATIMENTO (SLUMP TESTE)

O ensaio de abatimento é utilizado para determinar a classificação do concreto, de acordo com Chagas (2019), quanto maior o valor do abatimento (ou *slump*), maior será a plasticidade do concreto e, conseqüentemente, menor será a sua consistência.

Os abatimentos obtidos para todas as composições estudadas neste trabalho, foram iguais a 0 mm, como ilustra a Figura 1, assim, de acordo com a Tabela 1, a consistência do traço se apresenta como seca, o que está de acordo com *American Concrete Institute* (2010), onde consta que ao abatimento do concreto permeável deve ser próximo de 0 mm.

Figura 1. Resultado abatimento do concreto (*Slump Teste*).



Fonte: Autorial própria.

Tabela 1. Classes de consistência.

Consistência	Abatimento (mm)
Seca	0 a 20
Firme	20 a 50
Média	50 a 120
Mole	120 a 180
Fluida	180 a 250

Fonte: Adaptado de: Ambrozewicz *apud* Chagas (2019).

Segundo Ambrozewicz (2012 *apud* CHAGAS, 2019), a firmeza da consistência e do abatimento tem uma relação direta, pois quanto mais seca for a consistência do concreto, menor será o valor do abatimento, visto que o concreto possui a tendência de se manter próximo ao topo do cone, e quanto mais fluida é a consistência, maior será o abatimento, uma vez que o concreto tende a ceder e ficar mais distante do topo.

De acordo com Leite (2001), a trabalhabilidade do concreto confeccionado com agregados reciclados provenientes dos RCC é influenciada em especial pelos seguintes fatores: forma irregular dos agregados, superfície mais áspera comparada ao agregado natural e pela alta taxa de absorção de água devido a porosidade elevada. Para Rashwan e Abourizk (1997 *apud* LEITE, 2001), o formato e a rugosidade superficial do agregado reciclado oriundo dos RCC aumentam o atrito entre as partículas da mistura, exigindo uma maior quantidade de pasta de cimento para facilitar o deslocamento das partículas e superar essa resistência.

Oliveira (2017), relatou que o produto final da mistura do concreto estudado por ele foi uma massa seca, obtendo um abatimento igual a 0 mm, padrão este que se repetiu para as quatro composições estudadas por ele. Sendo assim, o autor explica que este resultado está ligado a pouca presença de argamassa na mistura, assim como proporção elevada de agregado e a ausência de aditivos que promovem a plasticidade.

Portanto, os fatores apresentados explicam os resultados de abatimento obtidos na presente pesquisa, uma vez que, estes contribuem para uma mistura seca, e consequentemente baixos abatimentos.

3.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO UNIAXIAL

Durante o ensaio de compressão uniaxial o CDP é comprimido progressivamente até que ocorra a sua ruptura, que é perda de suas características estruturais, sendo a força máxima aplicada dividida pela área de contato do CDP com a prensa para se obter a correspondente tensão máxima aplicada durante o ensaio (CHAGAS, 2019).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018), sendo aplicada a carga até a fratura do CDP. Durante a execução do ensaio verificou-se que após atingir o máximo de resistência à compressão, começaram a surgir trincas (internas e externas), que se propagaram e levaram à fratura do mesmo, sendo possível identificá-las devido a queda abrupta no valor de resistência à compressão.

A Tabela 2 apresenta a resistência à compressão e o desvio padrão das medidas obtidas durante os ensaios de compressão uniaxial, correspondente à média dos valores de resistência à compressão dos 3 CDPs de cada composição estudada, considerando o tempo de cura úmida de 28 dias.

Tabela 2. Resultado da resistência à compressão obtida no ensaio de compressão uniaxial.

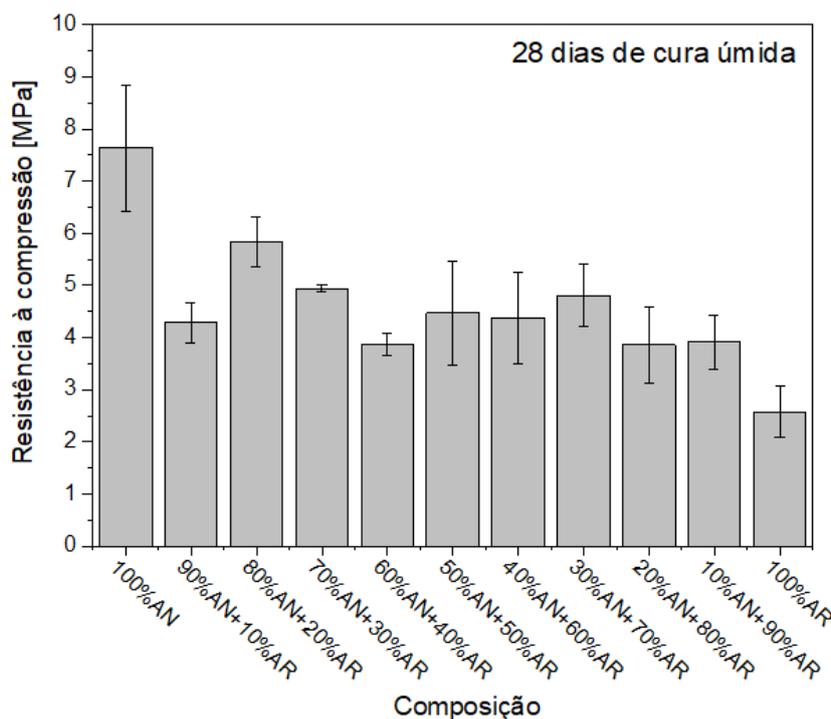
Composição	Resistência à compressão \pm desvio padrão [MPa]
100%AN	7,64 \pm 1,21
90%AN + 10%AR	4,28 \pm 0,39
80%AN + 20%AR	5,84 \pm 0,48
70%AN + 30%AR	4,94 \pm 0,06
60%AN + 40%AR	3,86 \pm 0,21
50%AN + 50%AR	4,47 \pm 1,00
40%AN + 60%AR	4,38 \pm 0,87
30%AN + 70%AR	4,81 \pm 0,59

Composição	Resistência à compressão \pm desvio padrão [MPa]
20%AN + 80%AR	3,86 \pm 0,73
10%AN + 90%AR	3,91 \pm 0,52
100%AR	2,57 \pm 0,49

Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 apresenta o gráfico ilustrativo com os resultados apresentados na Tabela 2.

Figura 2. Resultados de resistência à compressão deste estudo.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com a análise dos resultados, verifica-se que o maior valor de resistência à compressão é encontrado nos CDPs confeccionados com 100%AN, em contrapartida os menores valores foram encontrados nos CDPs contendo 100%AR, sendo que de um modo geral, a adição de agregado reciclado em substituição ao agregado natural causa diminuição nos valores de resistência à compressão, quando comparado com os CDPs confeccionados com 100%AN. De acordo com a literatura consultada (LAMB, 2014; TAVARES e KAZMERCZAK, 2016; SANTOS, 2017), o agregado reciclado proveniente dos RCC, apresenta menor resistência mecânica do que o agregado natural, o que explica a diminuição dos valores dessa propriedade ao se utilizar o AR na composição do concreto permeável analisado.

De forma adicional, Strieder (2021), estudou o concreto permeável com diferentes proporções de agregado natural e reciclado, verificando diminuição da resistência à compressão, quando se substitui o agregado natural pelo reciclado, esclarecendo que

percentuais elevados de agregado reciclado no concreto, aumentam a quantidade de vazios e diminuem a densidade, resultando em uma resistência à compressão menor.

No presente estudo, verificou-se que o agregado reciclado proporciona uma maior porosidade ao concreto permeável, pois possui menor densidade quando comparado ao agregado natural, isso também afeta as propriedades mecânicas do material, uma vez que a resistência à compressão é inversamente proporcional à porosidade do material. Resultados semelhantes foram reportados por Lamb (2014) e Tavares e Kazmierczak (2016).

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que a resistência à compressão do concreto permeável estudado que teve parte do AN substituído pelo AR variou de $3,91 \pm 0,52$ MPa, para CDPs confeccionados com 10%AN+90%AR, a $5,84 \pm 0,48$ MPa, para CDPs confeccionados com 80%AN+20%AR, os CDPs confeccionados com diferentes proporções de AN e AR apresentaram valores de resistência à compressão intermediários aos citados. Os resultados apresentados estão de acordo com *American Concrete Institute* (2010), que indica que a resistência à compressão do concreto permeável normalmente se encontra na faixa de 2,8 a 28 MPa.

Resultados semelhantes aos obtidos neste estudo foram relatados por Oliveira (2017), que obteve valores de $5,13 \pm 0,40$ MPa e $6,38 \pm 1,74$ MPa, para composições com 100% e 70% de agregado reciclado, respectivamente. Yap e colaboradores (2018 *apud* BRASILEIRO *et al.*, 2020), também estudaram composições do concreto permeável com diferentes proporções de agregado reciclado, obtendo 5,5 MPa para os CDPs confeccionados com 80%AR e 100%AR.

Verificou-se também uma dispersão considerável nos resultados entre as diferentes composições estudadas, o que pode estar relacionado com a grande variabilidade de materiais que compõem o agregado reciclado, pois durante o processo de classificação (peneiramento) foi verificada a presença de materiais diversos, tais como: madeira, vidro, plástico, isopor, cerâmica vermelha, piso, revestimentos, entre outros, sendo tais materiais retirados quando identificados em inspeção visual.

Leite (2001), destaca a importância de se considerar a presença de impurezas em agregados oriundos dos RCC, devido aos possíveis efeitos adversos na resistência mecânica e durabilidade do material.

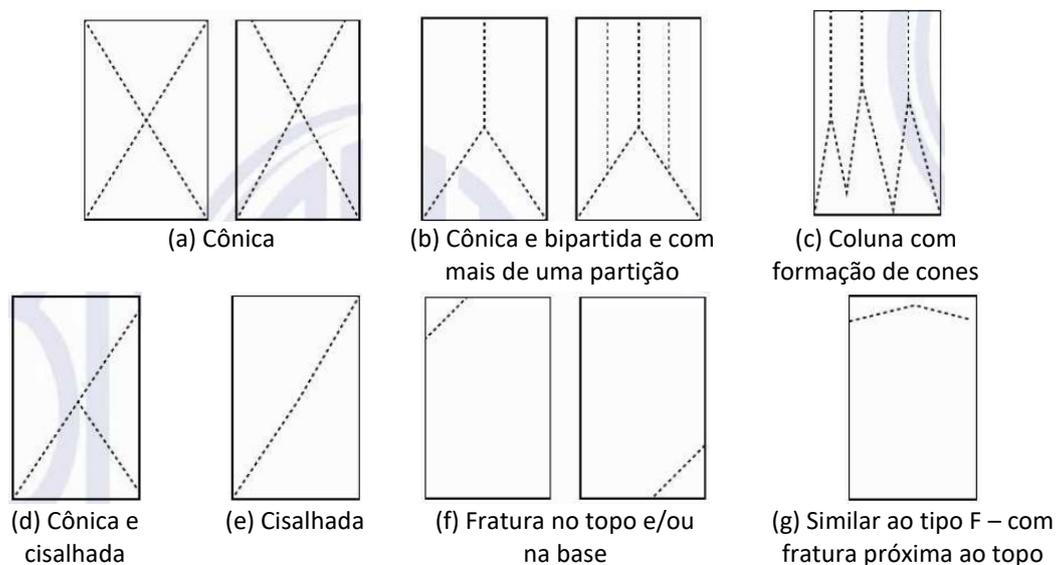
Hansen (1992 *apud* LEITE, 2001), destaca, que a utilização de agregados reciclados que contêm argila ou matéria orgânica na produção de concreto, pode levar a uma diminuição na resistência mecânica e a problemas de durabilidade, especialmente sob condições de ciclos

alternados de umidade/secagem. O autor, também menciona que eliminar solos argilosos dos agregados é um desafio, mas isso pode ser alcançado por meio de técnicas de peneiramento sucessivo.

Ademais, Paula Junior (2019), em seu estudo também presenciou variabilidade nos resultados, concluindo que além da própria constituição não uniforme do concreto poroso, no qual há descontinuidade de massa e formação de vazios imprevisíveis, o uso de resíduos de concreto oriundos dos RCC, intensifica a heterogeneidade inerente ao composto permeável, o que impacta diretamente na resistência mecânica, que varia conforme a natureza dos agregados usados. Dessa forma, o autor ressalta a necessidade de um controle minucioso na seleção da matéria-prima para geração dos agregados reciclados, para assegurar qualidade do concreto permeável produzido, considerando a variabilidade dos resíduos.

A NBR 5739 (ABNT, 2018), também classifica os tipos de fraturas possíveis que os CDPs de concreto podem sofrer, conforme ilustra a Figura 3.

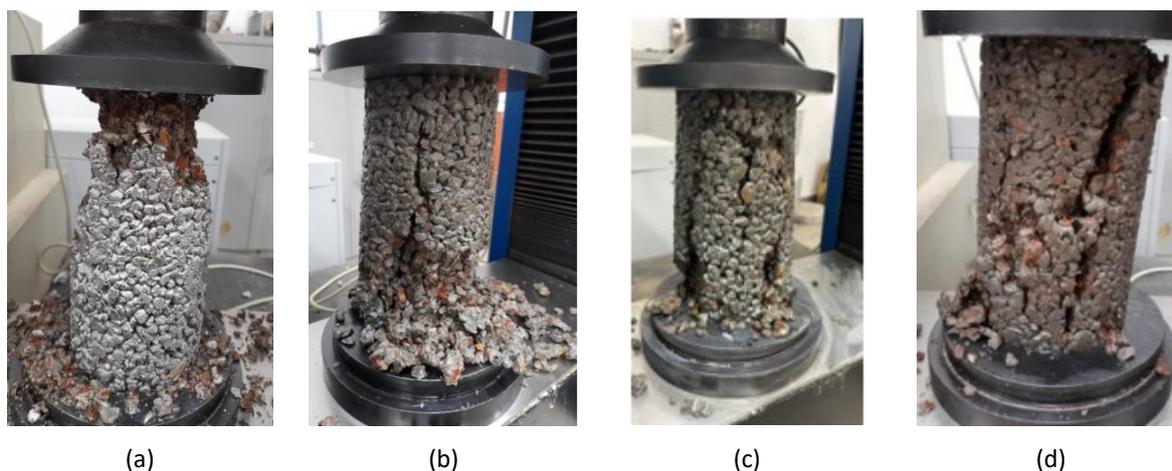
Figura 3. Tipos de rupturas obtidas no ensaio de compressão uniaxial para CDP cilíndrico de concreto.



Fonte: ABNT (2018).

De acordo com a análise dos tipos de fratura dos CDPs deste estudo, chegou-se à conclusão que os CDPs apresentaram 4 tipos básicos de ruptura, exemplificados na Figura 4.

Figura 4. Tipos de ruptura observados: (a) CDP com 30%AN+70%AR, tipo A; (b) CDP com 40%AN+60%AR, tipo B; (c) CDP com 60%AN+40%AR, tipo C; (d) CDP com 100%AR, tipo D.



Fonte: A autoria própria.

De acordo com a classificação dos tipos de ruptura obtidos no ensaio de resistência à compressão para CDP cilíndrico de concreto, apresentada na NBR 5739 (ABNT, 2018), verifica-se de forma aproximada que os tipos de ruptura observados são referentes aos tipos: A (cônica), B (cônica e bipartida), C (coluna com formação de cones) e D (cônica e cisalhada).

A análise do tipo de fratura é importante para verificar se houve algum defeito na moldagem, pois de acordo com a NBR 5739 (2018), a ocorrência dos tipos de fratura F (no topo e/ou base) e G (próxima ao topo) indicam dispersão entre os resultados e consequentemente defeitos na moldagem.

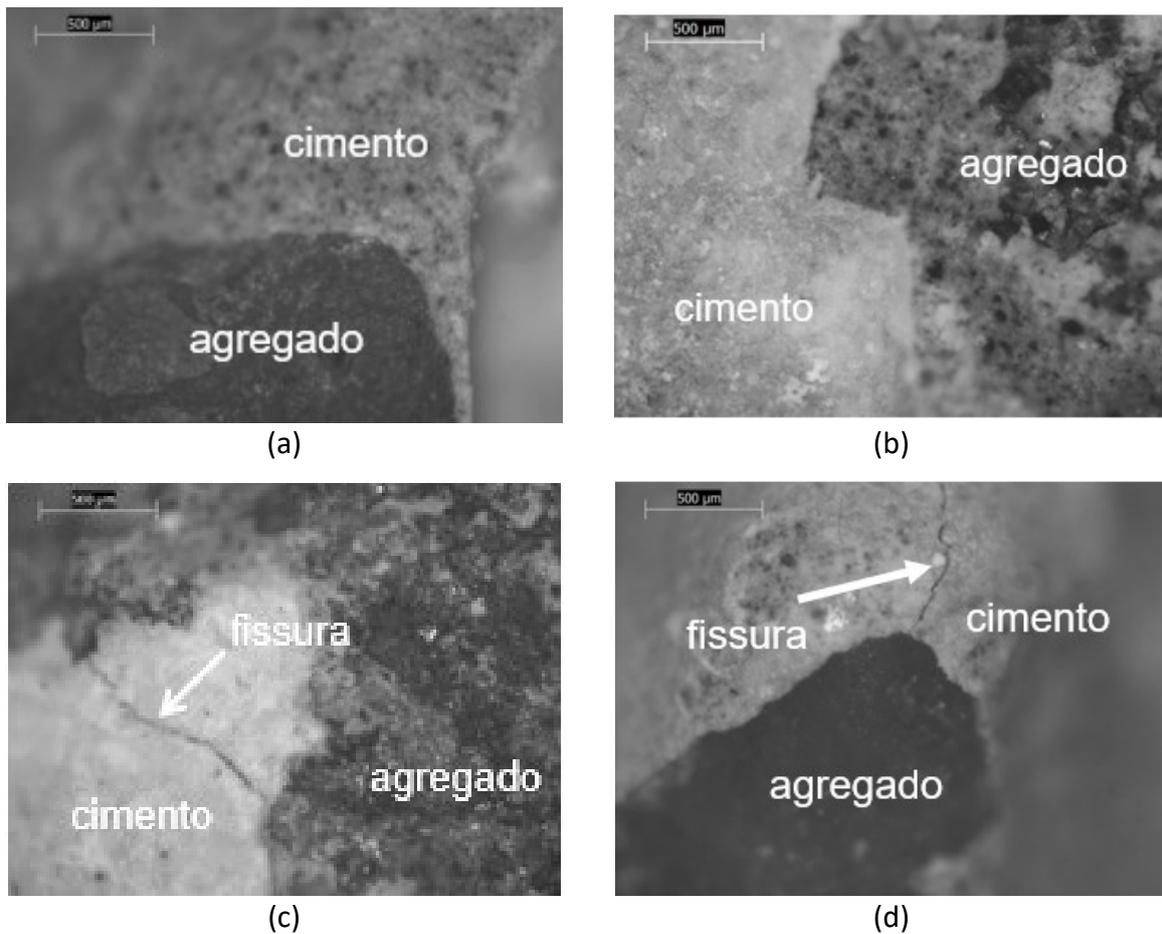
3.3. ANÁLISE VIA MICROSCÓPIO ÓPTICO

Após o ensaio de compressão uniaxial, os pedaços originados das rupturas dos CDPs, foram secos naturalmente e observados junto a um microscópio óptico, a fim de realizar a verificação da ligação formada entre o cimento e o agregado. A Figura 5 apresenta as imagens representativas feitas no microscópio óptico.

De um modo geral verificou-se uma boa coesão entre as partículas do agregado com o cimento, não havendo desagregação entre esses dois materiais, conforme pode ser verificado na Figura 5a e 5b.

Verificou-se também a presença de fissuras principalmente na região predominante do cimento e na interface cimento/agregado (Figura 5c e 5d), indicando que essas regiões, apesar de não apresentarem desagregação, mostram-se com uma certa fragilidade, podendo ser locais de início das fissuras que levam os CDPs à fratura. Não foi possível diferenciar o AR do AN por meio de microscopia óptica.

Figura 5. Microscopia óptica, CDP com: (a) 30%AN+70%AR; (b) 10%AN+90%AR; (c) 50%AN+50%AR; (d) 20%AN+80%AR.



Fonte: Autoria própria.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível estudar o comportamento do concreto permeável relacionado a resistência à compressão, confeccionado utilizando diferentes porcentagens de agregado natural e reciclado. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir o seguinte:

- Todas as composições analisadas apresentaram consistência seca, o que foi observado no teste do abatimento do concreto (*Slump Teste*), visto que o abatimento foi igual a zero.
- Os resultados dos ensaios de compressão uniaxial mostraram que a resistência à compressão se apresenta com uma variação considerável, esse fato pode estar relacionado a dois fatores, um deles é a porosidade, pois o agregado reciclado possui maior porosidade do que o natural, o que afeta a resistência do material. O outro fator a ser considerado é a grande variabilidade composicional do agregado reciclado, visto

que possui em sua composição diversos materiais contaminantes, tais como: vidro, madeira, entre outros.

- Apesar da variabilidade com relação aos resultados de resistência à compressão, verifica-se que com o aumento do teor de agregado natural, há uma tendência ao aumento da resistência à compressão, sendo que os CDPs com composição igual a 80%AN+20%AR apresentaram maiores valores de resistência à compressão em relação aos demais confeccionados com teores variados de AN e AR.
- Mediante verificação das imagens obtidas via microscópio óptico verificou-se boa coesão entre as partículas do agregado com o cimento, não havendo desagregação entre esses dois materiais, e também a presença de fissuras na região do cimento e na interface cimento/agregado, indicando que essas regiões, apesar de não apresentarem desagregação, mostram-se com certa fragilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 522R-10: Pervious Concrete**. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 5738. Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

BALDO, J. T. **Pavimentos de Concreto Permeáveis uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. 1ª Ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BENEVENUTO, A. **Concreto permeável: UFF pesquisa soluções para uma urbanização sustentável**. Universidade Federal Fluminense, 2018. Disponível em: <<https://www.uff.br/?q=noticias/15-08-2018/concreto-permeavel-uff-pesquisa-solucoes-para-uma-urbanizacao-sustentavel>>. Acesso em: 01 maio 2022.

BRASILEIRO, K. P. T. V. et al. **Concreto permeável com agregado da reciclagem de resíduos da construção e demolição: revisão bibliográfica**. 2020. Disponível em:

<<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/17460/14171>>
. Acesso em: 01 março 2024.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** *Cerâmica*, v.61, p.178-189, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ce/a/8v5cGYtby3Xm3Snd6NjNdtQ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 maio 2022.

CHAGAS, S. M. **Materiais da Indústria da Construção.** Maringá-PR.: Unicesumar, 2019.

DEGANI, C. M. **Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios.** 2003. 223 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

LAMB, G. S. **Desenvolvimento e análise do desempenho de elementos de drenagem fabricados em concreto permeável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 152 p. 2014. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/114985>>. Acesso em: 16 janeiro 2024.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos da construção e demolição.** 2001. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>>. Acesso em: 03 fevereiro 2024.

OLIVEIRA, I. **Concreto permeável com agregado reciclado para uso em pavimentação.** 2017. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7959>>. Acesso em: 03 fevereiro 2024.

PAULA JUNIOR, A. C. **Estudo do potencial de aplicação de resíduo de concreto em substituição ao agregado graúdo para concretos permeáveis.** 2019. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFJF_646c910fef6e3cacf0b47234e6724e89>. Acesso em: 22 janeiro 2024.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana,** f. 189. 1999 Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

SANTOS, J. G. **A logística reversa como ferramenta para a sustentabilidade: um estudo sobre a importância das cooperativas de reciclagem na gestão dos resíduos sólidos urbanos.** *Reuna*, v. 17, n. 2, p. 81-96, 2012.

SANTOS, R. R. **Estudo da resistência mecânica do concreto permeável com substituição de agregado natural por agregado reciclado.** 2017. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br/items/0ceb5428-0a34-4580-bf72-e47bba5d6e5e/full.>>. Acesso em: 12 dezembro 2023.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas.** Porto Alegre: ABRH/RHAMA, Vol.11. 393p, 2007.

STRIEDER, H. L. **Estudo do uso de agregados de concreto reciclado em concreto permeável para pavimentos**. 2021. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/230172/001131674.pdf>>. Acesso em: 25 janeiro 2024.

TAVARES, I. M.; KAZMIERCZAK, C. S. **Estudo da influência dos agregados de concreto reciclado em concreto permeável**. Rev. IBRACON Estrut. Mater., São Paulo, v. 9, n. 1, p. 75-89, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/riem/a/B7RCKqvYtFcRY36jmF3cZWd/?lang=pt>>. Acesso em: 15 janeiro 2024.

CAPÍTULO XVII

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DE ROBÔ MÓVEL DE TRÊS RODAS COM ACIONAMENTO DIFERENCIAL

MODELING, SIMULATION AND TRAJECTORY PLANNING OF A THREE- WHEELED MOBILE ROBOT WITH DIFFERENTIAL DRIVE

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-17

Reginaldo Ferreira de Sousa Barbosa¹
Maria Francieli Nunes Machado²
Amanda Tainara de Moraes³
Flávio Luiz Rossini⁴

¹ Egresso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR.

² Discente de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR.

³ Discente de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR.

⁴ Professor Adjunto do Departamento Acadêmico de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná–UTFPR.

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um modelo matemático e um algoritmo para descrever a trajetória de um robô móvel de três rodas com tração diferencial, destacou a importância da robótica móvel em ambientes dinâmicos e não estruturados. Modelou-se matematicamente o comportamento do robô e desenvolveu-se um algoritmo para planejamento de trajetória. A metodologia inclui o estudo da cinemática dos robôs, a qual permite o planejamento das trajetórias com base na velocidade e orientação das rodas. Os resultados obtidos confirmam a eficácia do algoritmo proposto, esse contribui para o controle de trajetória em robôs autônomos.

Palavras-chave: Modelagem Matemática, Robótica, Controle, Cinemática.

ABSTRACT

This work addresses the development of a mathematical model and an algorithm to describe the trajectory of a three-wheeled mobile robot with differential traction, highlighting the importance of mobile robotics in dynamic and unstructured environments. The robot's behavior was mathematical modeled and an algorithm for trajectory planning was developed. The methodology includes the study of the robot's kinematics, which allows trajectory planning based on the speed and orientation of the wheels. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed algorithm, which contributes to trajectory control in autonomous robots.

Keywords: Mathematical Modeling, Robotics, Control, Kinematics.

1. INTRODUÇÃO

A robótica móvel é um ramo da robótica que busca desenvolver sistemas autônomos, os quais movem-se no espaço de forma assistida ou controlada. Esses robôs são construídos para executar tarefas em ambientes dinâmicos e não estruturados e, portanto, exigem habilidades perceptivas de navegação e adaptáveis. O campo integra os princípios da cinemática, dinâmica e sistemas de controle para permitir que o robô decida e ajuste sua trajetória de acordo com o ambiente ao redor (CRAIG, 2009; TZAFESTAS, 2013; BARBOSA; GARCIA; CUNHA; ROSSINI, 2023; FERREIRA; ROSSINI; BROLIN, 2022; 2024).

A partir da cinemática, estuda-se o comportamento mecânico dos sistemas, o qual é fundamental para a análise e modelagem de robôs móveis. Há duas classes de robôs móveis: (i) com rodas e (ii) com pernas (OLIVEIRA; ROSSINI, 2018; OLIVEIRA; ROSSINI; SILVA; MORREIRA, 2020; OLIVEIRA; MANERA; SILVA; ROSSINI, 2020). Neste artigo, foca-se o estudo em robôs móveis com rodas. Esse estudo permite descrever a trajetória de robôs em função da velocidade e orientação de suas rodas, da sua geometria, articulações e graus de liberdade (BARBOSA; GARCIA; CUNHA; ROSSINI, 2023). A compreensão do comportamento mecânico do robô é importante para projetar robôs adequados a tarefas específicas e para desenvolver *softwares* de controle apropriado para o hardware do robô móvel (SIEGWART; NOURBAKHS; SCARAMUZZA, 2011; ROSSINI; LOPES; ABREU; BARBOSA; OLIVEIRA, 2022).

Na robótica móvel, a cinemática não se limita apenas à descrição do movimento, mas também fornece uma base para a análise do espaço de trabalho do robô, que representa as posições alcançáveis em seu ambiente. Em contraste com manipuladores, onde a posição é fixada a um ponto e monitorada por sensores, a posição de um robô móvel é determinada cumulativamente, por meio da integração de seu movimento ao longo do tempo. Essa abordagem apresenta desafios adicionais, como erros de deslizamento, que impactam na precisão do cálculo posicional (SIEGWART; NOURBAKHS; SCARAMUZZA, 2011; ROSSINI, 2013).

A dinâmica, por sua vez, complementa a cinemática ao considerar as forças e torques que atuam no robô e influenciam seu movimento. Assim, enquanto a cinemática fornece a base para entender como o robô se movimenta, a dinâmica aborda as limitações impostas pela força e pela resistência ao movimento, o que inclui fatores como o centro de gravidade e a estabilidade durante as manobras (SIEGWART; NOURBAKHS; SCARAMUZZA, 2011;

ROSSINI, 2013; ROSSINI; GAINO; TEIXEIRA; ASSUNÇÃO; CARDIM; COVACIC, 2015). A análise dinâmica não será desenvolvida neste trabalho, a metodologia e as simulações serão focadas no modelo cinemático.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SISTEMAS NÃO-HOLONÔMICOS

Pode ser considerado um sistema não-holonômico aqueles que possuem dimensões finitas e restrições impostas em um ou mais estados do sistema. As limitações podem ser causadas por conservação do momento angular, condições que impossibilitam o deslocamento em uma ou mais direções ou ausência de atuadores em todas as direções (FIGUEIREDO; JOTA, 2004).

Como exemplo de condição não-holonômica pode se citar a restrição de não deslize, em que é definido que a velocidade linear do ponto de contato é zero. Essa condição é não integrável e por tanto é não-holonômica (WEN, 1995).

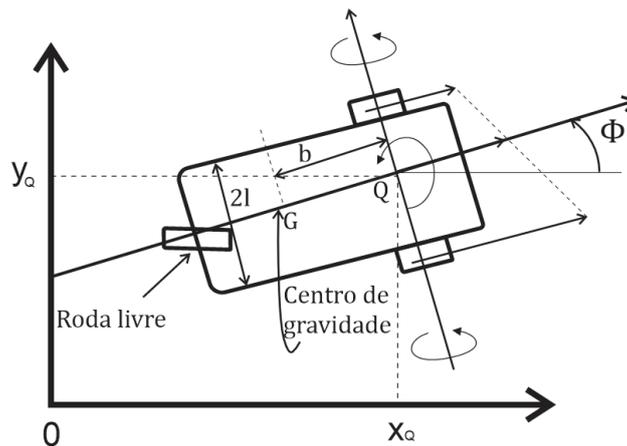
Para o robô móvel descrito neste trabalho, a condição limitante é a capacidade do robô de tração diferencial de se locomove apenas no eixo x e ter velocidade 0 no eixo y , essa condição é mantida pela restrição de deslize para os lados (TZAFESTAS, 2013). Isso será descrito nas equações do modelo.

2.2. ROBÔ MÓVEL DE TRÊS RODAS COM TRAÇÃO DIFERENCIAL

O robô de acionamento diferencial é um tipo de robô móvel caracterizado por duas rodas laterais que controlam sua direção e velocidade de movimento, ilustrado na Figura 1. A rotação independente das rodas permite que o robô gire em seu eixo e crie curvas por meio da variação da velocidade de cada lado, o que proporciona uma mobilidade flexível e precisa (TZAFESTAS, 2013).

Esse tipo de acionamento é relativamente simples de implementar e controlar, o que permite que algoritmos simples de navegação e controle de trajetória sejam usados diretamente. Esse design simples de maquinário e controle torna os robôs de acionamento diferencial uma excelente escolha para simulações e testes de regras de navegação em condições de laboratório, como otimizadas no MATLAB (CRAIG, 2009; TZAFESTAS, 2013; BARBOSA; GARCIA; CUNHA; ROSSINI, 2023; SANTOS; ROSSINI; COVACIC; GAINO, 2013, ROSSINI; 2013).

Figura 1. Diagrama de um robô móvel com tração diferencial de três rodas



Fonte: Adaptado de TZAFESTAS, 2013.

Na Figura 2 é possível ver um exemplo desse tipo de robô, o famoso kit de robô segue linha.

Figura 2. Chassi de robô segue linha



Fonte: THOMSEN, 2014.

2.3. ESPAÇO DE JUNTAS E ESPAÇO DE TRABALHO

Antes de explorar os conceitos de cinemática e modelagem matemática do dispositivo estudado, é fundamental compreender o que são os espaços de juntas e de trabalho, além de sua importância no estudo de robôs. O espaço de trabalho refere-se ao conjunto de pontos que o robô pode acessar. Por outro lado, o espaço de juntas é o vetor que indica os valores das articulações e atuadores necessários para que o robô chegue ao ponto desejado dentro do espaço de trabalho. Para robôs móveis que não possuem juntas, utiliza-se a rotação das rodas para gerar movimento (CRAIG, 2009; TZAFESTAS, 2013; ROSSINI; SANTOS; GAINO; COVACIC, 2012).

3. METODOLOGIA

3.1. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

A modelagem matemática do sistema tem início com imposição de duas condições. A primeira condição se refere a movimentação das rodas, como dito anteriormente, as rodas tracionadas não possuem movimentos deslizantes perpendiculares à direção de deslocamento do robô. A segunda condição se refere ao vetor de velocidade, ele sempre acompanha a direção do eixo de simetria do robô (BORGES; DEEP; LIMA, 2003).

Para descrever o processo é preciso definir o nome e significado de cada variável. Na Tabela 1, mostra-se a listagem de variáveis usadas no trabalho. Essas variáveis são usadas para estabelecer a correlação da rotação das rodas com a direção de movimento do robô.

Tabela 1. Variáveis do sistema

Variável	Símbolo	Unidade de medida
Raio das rodas	r	Cm
Raio do corpo do robô	l	Cm
Posição da roda esquerda	θ_e	Rad
Posição da roda direita	θ_d	Rad
Velocidade angular roda esquerda	$\dot{\theta}_e$	Rad/s
Velocidade angular roda direita	$\dot{\theta}_d$	Rad/s
Velocidade linear roda esquerda	v_e	Cm/s
Velocidade linear roda direita	v_d	Cm/s
Velocidade linear do robô	v_r	Cm/s
Velocidade linear do robô no eixo x	\dot{x}_r	Cm/s
Velocidade linear do robô no eixo y	\dot{y}_r	Cm/s
Velocidade angular do robô	$\dot{\phi}_r$	Rad/s
Velocidade linear na referência global x	\dot{x}_g	Cm/s
Velocidade linear na referência global y	\dot{y}_g	Cm/s
Velocidade angular global	$\dot{\phi}_g$	Rad/s

Fonte: Autoria própria.

3.2. TRANSFORMAÇÃO HOMOGÊNEA

Com as variáveis devidamente nomeadas, é feita a análise de correlação geométrica no robô. A ideia principal é ter um conjunto de equações que tenham como entrada a rotação das rodas e como resultado tenha o caminho percorrido pelo robô.

Desde que as rodas sejam iguais (para este trabalho essa condição foi considerada verdadeira), a velocidade de cada uma delas é dada pela derivada do ângulo de rotação pelo tempo, dessa forma é obtida a velocidade angular de cada roda. Realizou-se a multiplicação pelo raio da roda, a fim de obter a velocidade linear (TZAFESTAS, 2013).

$$v_{d,e} = \dot{\theta}_{d,e} \cdot r \quad (1)$$

Essa relação, Equação (1), também pode ser analisada pela ótica do sistema global, em que se considera a velocidade da roda direita um incremento de rotação para a esquerda, e da roda esquerda um incremento da rotação para a esquerda (TZAFESTAS, 2013).

$$v_d = v_r + l\dot{\phi}_r \quad (2)$$

$$v_e = v_r - l\dot{\phi}_r \quad (3)$$

Ao somar as Equação(2) e Equação(3) é obtida a Equação(4). Ao subtrair as mesmas equações é obtida a Equação(5) (TZAFESTAS, 2013).

$$\dot{x}_r = v_r = \frac{r}{2}(\dot{\theta}_d + \dot{\theta}_e) \quad (4)$$

$$\dot{\phi}_r = \frac{r}{2l}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}_e) \quad (5)$$

Ao projetar v_r nos eixos x e y é possível verificar que existe somente movimento em x no sistema do robô. Nas Equação(4) e Equação(5) são descritas as velocidades linear e angular pelo referencial do robô. Nas próximas equações será feita a projeção para o referencial global.

Entre os referenciais do robô e o global, há um ângulo ϕ que deve ser levado em conta para o cálculo das variáveis globais, conforme ilustrado na Figura 1. Ao projetar as variáveis na referência global, obtêm-se as relações da matriz expressas nas Equação(6), Equação(7) e Equação(8).

$$\dot{x}_g = \dot{x}_r \cos(\phi) \quad (6)$$

$$\dot{y}_g = \dot{x}_r \sin(\phi) \quad (7)$$

$$\dot{\phi}_g = \dot{\phi}_r \quad (8)$$

As variáveis no referencial global não devem ser confundidas com as referências do robô. Pois no referencial global o autômato possui velocidade nas duas dimensões, já no

referencial do robô, ele possui apenas velocidade ao longo do eixo x (TZAFESTAS, 2013; BARBOSA, 2023).

Com as devidas equações já prontas, pode-se desenvolver a transformação homogênea, onde é feita a relação das variáveis de entrada e dos resultados. Essa relação é obtida por meio da substituição das variáveis das velocidades do robô na equação de velocidade global pelas suas devidas funções em relação à rotação das rodas (TZAFESTAS, 2013; BARBOSA, 2023).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_g \\ \dot{y}_g \\ \dot{\phi}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r \cos(\phi)}{2} & \frac{r \cos(\phi)}{2} \\ r \sin(\phi) & r \sin(\phi) \\ \frac{2}{r} & -\frac{2}{2l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_d \\ \dot{\theta}_e \end{bmatrix} \quad (8)$$

A matriz que multiplica a matriz das velocidades angulares das rodas é chamada de jacobiano, e ela é o modelo usado para descrever a trajetória do robô a partir dos dados de entrada (TZAFESTAS, 2013; BARBOSA, 2023).

3.3. MODELAGEM DO MOVIMENTO DAS RODAS

Para simular o movimento das rodas é preciso modelar uma função que descreva o movimento em função do tempo. Esse movimento, para fins de verossimilhança, deve ter um início e um fim suaves, para simular uma rotação iniciada a partir do repouso e um retorno ao estado de repouso sem mudanças bruscas. Para garantir essa condição, foi escolhida uma função do terceiro grau. Nas equações seguintes é feita a relação do ângulo de rotação com o tempo, onde cada valor que multiplica o tempo é uma constante (BARBOSA, 2023).

$$\theta(t) = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (9)$$

$$\dot{\theta}(t) = 3at^2 + 2bt + c \quad (10)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 6at + 2b \quad (11)$$

Para encontrar os valores das constantes, algumas condições são impostas para o desenvolvimento dos cálculos, são elas:

$$\theta(0) = 0 \quad (9)$$

$$\theta(t_f) = \theta_f \quad (10)$$

$$\dot{\theta}(0) = 0 \quad (11)$$

$$\dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (12)$$

Ao desenvolver o sistema de equações, para encontrar o valor das constantes, é possível chegar às seguintes equações.

$$\theta_{d,e}(t) = \frac{3\theta_f}{t_f^2} t^2 - \frac{2\theta_f}{t_f^3} t^3 \quad (13)$$

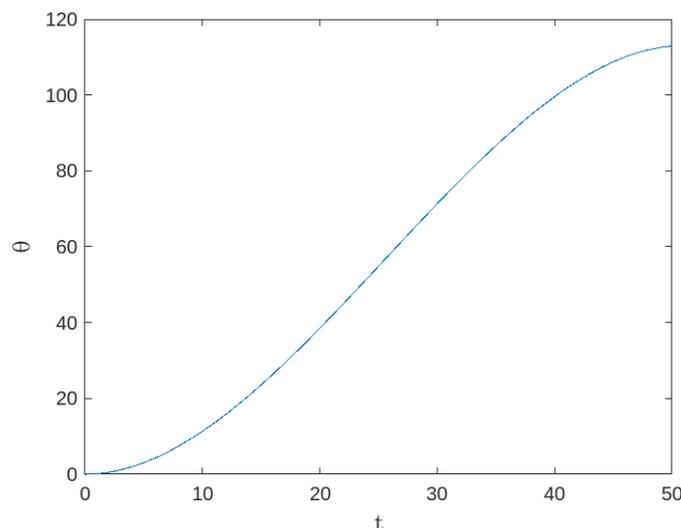
$$\dot{\theta}_{d,e}(t) = \frac{6\theta_f}{t_f^2} t - \frac{6\theta_f}{t_f^3} t^2 \quad (14)$$

$$\ddot{\theta}_{d,e}(t) = \frac{6\theta_f}{t_f^2} - \frac{12\theta_f}{t_f^3} t \quad (15)$$

Para exemplificar o comportamento da função encontrada, na Figura 3 foi feito um gráfico com o valor de $\theta_f = 6$ e $t_f = 25$.

Como descrito anteriormente, o início e o final da função têm um comportamento suavizado para simular uma roda que parte do repouso e desacelera ao final do movimento.

Figura 3. Gráfico de θ em função do tempo



Fonte: Autoria própria.

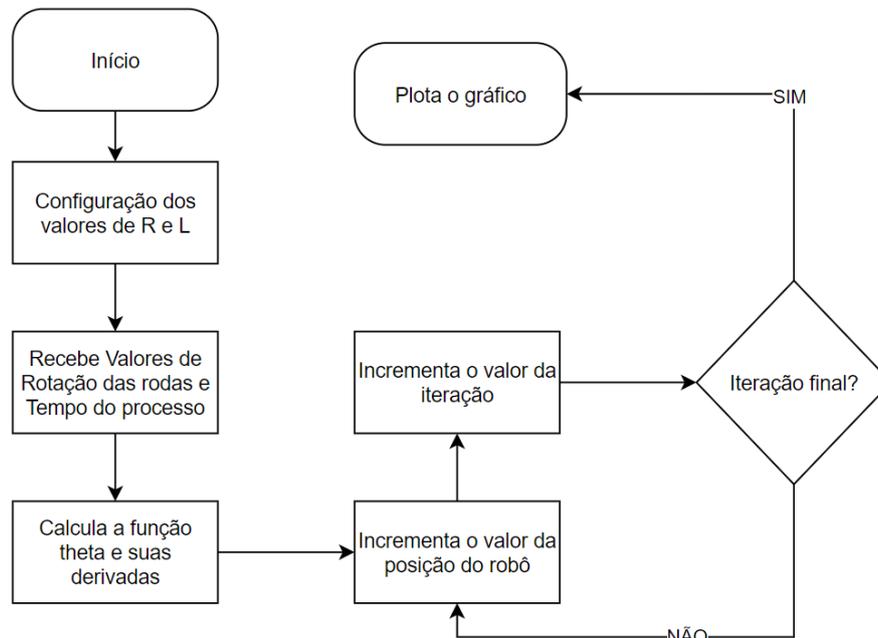
3.4. ALGORITMO DE SIMULAÇÃO NO MATLAB®

O algoritmo desenvolvido tem como variáveis de entrada as características físicas do robô, o número de voltas de cada roda e o tempo que o movimento leva para ser completado. Os dados das rodas são processados pelo modelo desenvolvido na seção anterior.

O passo seguinte é dividido em iterações, em que se aplica o jacobiano à velocidade da roda para encontrar a velocidade global final. Com a velocidade calculada, é possível verificar o deslocamento do robô, esse deslocamento é feito em intervalos finitos e incrementado a cada iteração.

Após o processamento do trajeto completo, são gerados gráficos de velocidade, posição e trajetória. Um fluxograma que mostra as etapas do algoritmo é mostrado na Figura 4.

Figura 4. Fluxograma do algoritmo



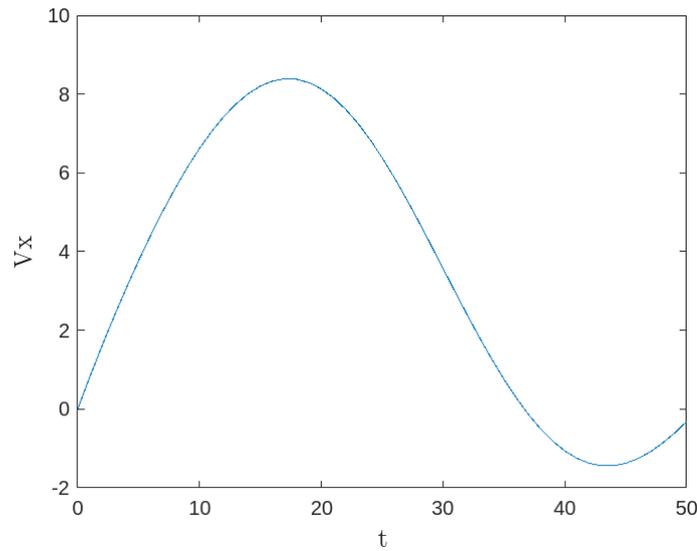
Fonte: Autoria própria.

4. RESULTADOS

Os resultados do algoritmo são os gráficos gerados. Eles imprimem a velocidade do robô em cada momento de iteração. Para exemplificar a simulação e gerar os resultados presentes neste trabalho, executou-se o código com um raio de 3,3 *cm* de roda, 10,5 *cm* de diâmetro para o corpo do robô, 18 rotação da roda direita, 17 rotações da roda esquerda e 50 segundos de duração do movimento.

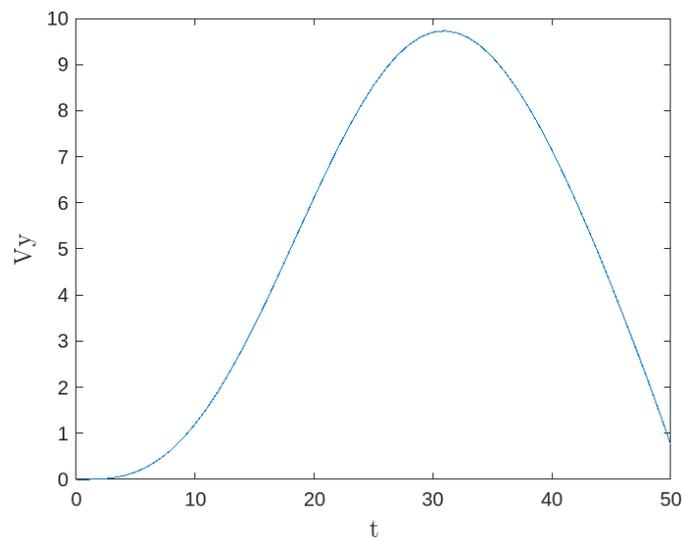
Na Figura 5 e 6 é possível verificar o comportamento da velocidade global no eixo *x* e *y*, respectivamente. Esse gráfico possui esse comportamento graças à modelagem da movimentação das rodas, onde foi imposta a condição de início e fim suavizados. O comportamento crescente e decrescente também indica que durante a movimentação, o vetor velocidade mudou direção no referencial global, o que indica que o robô deu uma volta circular, um movimento já esperado, pois uma das rodas rotacionou menos que a outra, portanto o autômato fez uma curva suave para a esquerda, já que esse lado deu menos voltas.

Figura 5. Velocidade global em x



Fonte: Autoria própria.

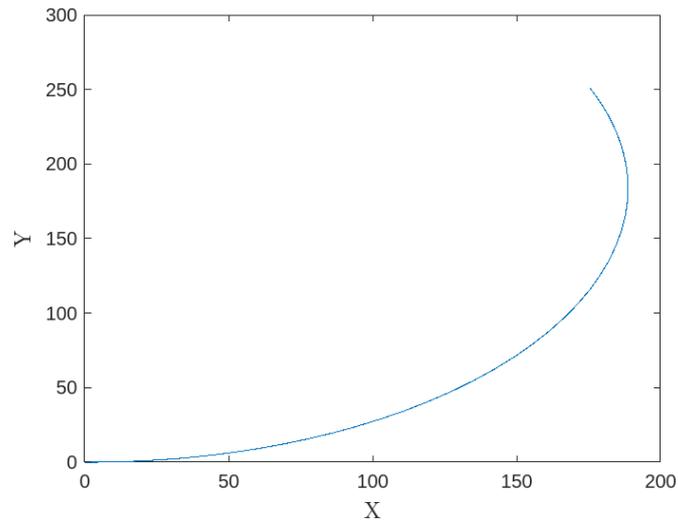
Figura 6. Velocidade global em y



Fonte: Autoria própria.

O próximo gráfico, Figura 7, demonstra o posicionamento do robô sobre o eixo x e y , como se ele tivesse marcado sua trajetória no chão e fosse visto por cima por um observador. Esse gráfico é de grande ajuda para entender como o robô se comporta de acordo com a rotação de suas rodas.

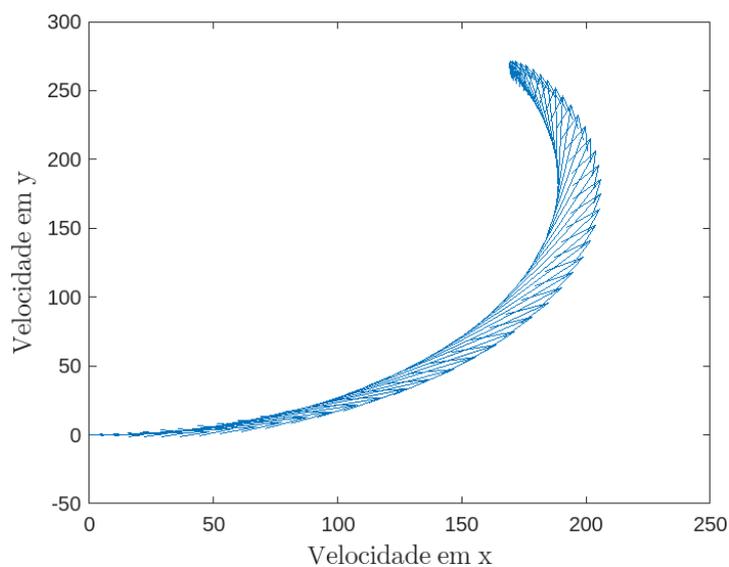
Figura 7. Posição do robô no plano x e y



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 8, o último gráfico, é feita uma junção dos vetores de velocidade calculados em cada iteração do processo, o comportamento do gráfico é próximo ao de posição do robô, pois o vetor de velocidade sempre tangencia o deslocamento do corpo. Esse gráfico é muito útil para entender para onde o autômato se locomove e com qual velocidade. Para descrever o processo foi usado um plot de dados no formato de setas sobre um plano que representa o eixo x e y , ou seja, cada seta representa a intensidade, sentido e direção de um vetor velocidade.

Figura 8 – Posição mais vetor de velocidade



Fonte: Autoria própria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A robótica móvel é um campo de estudo em ascensão, pois descreve diferentes formas de entender os movimentos de objetos autômatos que podem ser usados para facilitar trabalhos cotidianos ou industriais. O presente trabalho explorou o comportamento cinemático de um robô móvel de três rodas com tração diferencial e descreveu um modelo matemático que pode ser usado para entender como ele se movimenta a partir do comportamento de suas rodas. O projeto envolveu o desenvolvimento de equações e algoritmos que simulam um objeto real e essas simulações geram resultados visuais para facilitar a análise do objeto.

Os resultados estão de acordo com o esperado para descrever o comportamento do robô modelado, portanto conclui-se que o algoritmo é eficiente no que se propõe e pode ser usado para estudar robôs de tração diferencial. Como continuação do presente trabalho pode-se destacar o desenvolvimento de um sistema de controle baseado em dinâmica.

AGRADECIMENTOS

A UTFPR pelo suporte e ao Professor Dr. Flávio Luiz Rossini pela valorosa orientação no desenvolvimento do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Reginaldo F. de S.; GARCIA, Lucas R.; CUNHA, Marcio R. da; ROSSINI, Flávio L. **Modelagem e simulação da cinemática direta de um robô móvel de três rodas com tração diferencial**. XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR-Campus Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2023.

CRAIG, J. J. **Introduction to robotics: mechanics and control**. 3. ed. Pearson Education India, 2009.

FERREIRA, Leandro Amaro; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Simulação, Projeto e Desenvolvimento de um Drone Terrestre de duas Rodas para Inspeção Territorial: estudo de caso**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/547798-simulacao-projeto-e-desenvolvimento-de-um-drone-terrestre-de-duas-rodas-para-inspecao-territorial--estudo-de-cas/>. Acesso em: 07 jul. 2024.

FERREIRA, Leandro Amaro; ROSSINI, Flávio Luiz; BROLIN, Leandro Castilho. **Modelagem e Análise de Estabilidade de um Drone Terrestre de Duas Rodas com Acionamento Diferencial**. In: SOARES, A. M. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços

tecnológicos – Vol. 11. Ponta Grossa: Aya Editora, 2024. p. 24-42. ISBN 9786553795150. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/livros/L627.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024. DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.2.

FIGUEIREDO, Luiz C.; JOTA, Fabio G. **Introdução ao controle de sistemas Não-Holonômicos**. Revista Controle & Automação, [s. l.], v. 15, ed. 3, p. 243-268, 2004.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA, Manuel Fernando; MOREIRA, Antonio Paulo. **Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots**. In: 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, p. 1-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570>. Acesso em: 13 set. 2024. DOI: 10.1109/ARGENCON49523.2020.9505570.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto; ROSSINI, Flavio Luiz. **Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots**. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 2, p. 375-383, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389>. Acesso em: 13 set. 2024. DOI: 10.1109/TLA.2018.8327389.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; MANERA, Leandro Tiago; SILVA, Manuel Fernando dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. **Software de Simulação de Robôs Hexápodes**. Registro de Software, Número da Patente BR512020000582-9, 2020. Disponível em: <https://transparencia.cc/dados/inpi/software/5120200005829-software-de-simulacao-de-robos-hexapodes/>. Acessado em: 07 jul. 2024.

ROSSINI, Flávio Luiz; GAINO, Ruberlei; TEIXEIRA, Marcelo Carvalho Minhoto; ASSUNÇÃO, Edvaldo; CARDIM, Rodrigo; COVACIC, Marcio Roberto. **Robust Controller Design of a Wheelchair Mobile via LMI Approach to ERP Systems with Feedback Output**. IEEE Latin America Transactions, v. 13, n. 5, p. 1321-1330, maio 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tla.2015.7111985>. Acesso em: 14 set. 2023.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; MANERA, Leandro Tiago; SILVA, Manuel Fernando dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz.

Software de Simulação de Robôs Hexápodes. Registro de Software, Número da Patente BR512020000582-9, 2020. Disponível em: <https://transparencia.cc/dados/inpi/software/5120200005829-software-de-simulacao-de-robos-hexapodes/>. Acessado em: 07 jul. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto de controlador robusto aplicado à cadeira de rodas móveis via abordagem por LMIS**. 2013. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, [s. l.], 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000184710>. Acesso em: 13 set. 2024.

ROSSINI, Flávio Luiz; SANTOS, Nilson Moutinho dos; GAINO, Ruberlei; COVACIC, Márcio Roberto. **Projeto de Controlador Robusto Aplicado à Cadeira de Rodas Móveis via**

Abordagem por LMIs. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática 2012, Campina Grande, pp. 2966-2972, 2012.

ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Pericharo; ABREU, Leonardo de Melo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. **Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador Scara SR-6 IA Através de um Aplicativo Matlab®.** In: PERBICHE, João Paulo. Ciências Exatas: Estudos e Desafios. São José dos Pinhais: Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora, 2022. v. 1, cap. 15, p. 250-280. ISBN 978-65--81028-82-4.

SANTOS, Nilson Moutinho dos; ROSSINI, Flávio Luiz; COVACIC, Márcio Roberto; GAINO, Ruberlei. **Controle Robusto de Veículo sobre Plataforma com Rodas e Tração Diferencial Utilizando LMIS.** In: XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI 2013. Fortaleza, 2013.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHS, Illah Reza; SCARAMUZZA, Davide. **Introduction to Autonomous Mobile Robots.** 2. ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2011.

THOMSEN, Adilson. **Como montar um Robô Seguidor de Linha com Arduino Motor Shield.** Maker Hero, 24 fev. 2014. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/projeto-robo-seguidor-de-linha-arduino/>. Acesso em: 20 out. 2024.

TZAFESTAS, S.G. **Mobile Robot Control.** National Technical University of Athens Athens, Greece, 2013.

WEN, J.T. Control Handbook. In: **Control of Nonholonomic Systems,** CRC Press, 1995. cap. Control of Nonholonomic Systems, p. 1359–1368.

CAPÍTULO XVIII

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E ANÁLISE POR MEIO DA INTEGRAL DE CONVOLUÇÃO EM TEMPO CONTÍNUO DE UM CIRCUITO RLC SÉRIE

MODELING, SIMULATION AND ANALYSIS BY CONTINUOUS TEMPORAL CONVOLUTION INTEGRAL OF A SERIES RLC CIRCUIT

DOI: 10.51859/amplla.pet4499-18

Ezequiel de Carvalho Luz¹
Gustavo Cesar Moura Figueiredo²
Julio Cesar de Souza³
Lucas Henrique dos Santos Thozolino⁴
Pedro Henrique Molina Oliveira⁵
Flávio Luiz Rossini⁶

^{1,2,3,4,5} Discentes do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

⁶ Professor do curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

RESUMO

Neste capítulo, explorou-se a análise no domínio do tempo e da frequência de um circuito RLC série com raízes complexas conjugadas, à resposta do sistema a uma entrada de degrau unitário. Realizou-se a modelagem do circuito por meio de equação diferencial e obteve-se a solução por meio da integral de convolução da resposta ao impulso com o sinal de entrada. Assim, resultou em uma expressão que caracteriza o comportamento do sistema completamente no domínio do tempo contínuo. Posteriormente, compararam-se as soluções obtidas no domínio do tempo, via convolução, e no domínio da frequência, através da Transformada de Laplace. Os resultados matemáticos foram compilados no *software* MATLAB® e compararam-se com as formas de onda do circuito no *software* LTSpice®. A análise revelou a natureza oscilatória amortecida da resposta, típica de sistemas subamortecidos e suas implicações práticas em circuitos elétricos.

Palavras-chave: Circuito RLC; Raízes Complexas; Integral de Convolução; *software* LTSpice®; *software* MATLAB®.

ABSTRACT

In this chapter, the complete time-domain analysis of a series RLC circuit with complex conjugate roots was explored, in response to a unit step input. The circuit was modeled using a differential equation and the solution was obtained by means of the convolution integral of the impulse response with the input signal. This resulted in an expression that characterizes the behavior of the system completely in the continuous time domain. Subsequently, the solutions obtained in the time domain, via convolution, and in the frequency domain, via the Laplace Transform, were compared. The mathematical results were compiled in MATLAB® software and compared with the circuit waveforms in LTSpice® software. The analysis revealed the damped oscillatory nature of the response, typical of underdamped systems, and its practical implications in electrical circuits.

Keywords: RLC Circuit; Complex Roots; Convolution; LTSpice® software; MATLAB® software.



1. INTRODUÇÃO

A análise matemática de sistemas físicos desempenha um papel fundamental nas engenharias e tecnologias, pois permite a descrição matemática de sistemas simples a complexos [1] [2]. A modelagem é fundamental para compreender, prever e otimizar o desempenho desses sistemas, possibilita a solução de problemas e a tomada de decisões em projetos e aplicações práticas [3] [4]. Há necessidade de descrever matematicamente sistemas robóticos para projeto e análise de trajetórias, assim como projetar seus sistemas de controle [5]-[19]. O controle de sistema dinâmicos também faz uso de modelos, sejam controladores clássicos ou controladores adaptativos ou outras abordagens [21]-[32].

Entre os métodos frequentemente utilizados para a resolução de equações diferenciais que descrevem circuitos elétricos, a Transformada de Laplace e a Integral de Convolução, destacam-se por sua eficiência e aplicabilidade prática [33]-[35]. Tais ferramentas são essenciais para a análise de sistemas lineares invariantes no tempo (LIT), soluções nos domínios do tempo ou da frequência [36]-[41].

A Transformada de Laplace é uma técnica poderosa que transforma equações diferenciais no domínio do tempo em equações algébricas no domínio da frequência [2] [4] [32] [33]. Essa abordagem facilita a análise de sistemas lineares e complexos, uma vez que converte as operações diferenciais em algébricas [34]-[36]. Para circuitos RLC, onde as equações diferenciais são de segunda ordem, a Transformada de Laplace é especialmente útil para determinar rapidamente a resposta do sistema a diferentes entradas, como degrau unitário ou funções exponenciais [37]-[39].

Por outro lado, a integral de convolução é uma ferramenta matemática usada para calcular a resposta total de um sistema a uma entrada arbitrária, completamente desenvolvida no domínio do tempo [32], esse tempo pode ser contínuo ou discreto. A convolução permite que a saída de um sistema seja calculada pela sobreposição temporal dos efeitos de cada parte do sinal de entrada e das condições iniciais [32]. No caso de circuitos RLC, a convolução entre a resposta ao impulso e um sinal de entrada, como um degrau unitário, revela o comportamento dinâmico do circuito, particularmente em termos de oscilação e amortecimento [32].

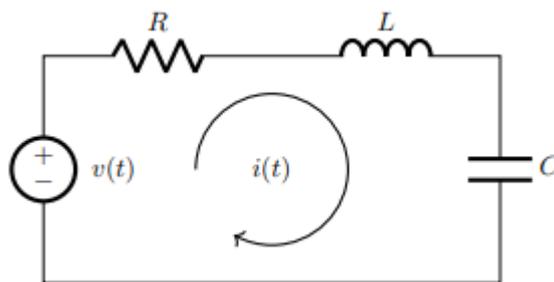
Neste artigo, aplicaram-se duas abordagens para solução analítica, a Integral de Convolução no domínio do tempo contínuo e a Transformada de Laplace no domínio da

frequência, à modelagem de um circuito RLC com raízes complexas conjugadas. Objetivou-se comparar a eficiência de ambas as abordagens e mostrar como elas convergem para o mesmo resultado. Além de destacar as vantagens e limitações de cada abordagem. Realizaram-se simulações para confirmar que, apesar do uso de abordagens distintas, as respostas obtidas são equivalentes. Tais simulações demonstraram a convergência dos resultados e a consistência entre os métodos de análise no domínio do tempo e da frequência, além de evidenciar a aplicabilidade prática dessas ferramentas em problemas reais.

2. RESOLUÇÃO DO SISTEMA NO DOMÍNIO DO TEMPO

Primeiramente, descreveu-se a relação de entrada-saída a partir da equação do circuito RLC. Considerou-se como entrada o sinal $v(t)$ um degrau unitário. Na Figura 1, ilustra-se o circuito elétrica RLC série em análise.

Figura 1. Circuito RLC



Descreveu-se o circuito em termo da variável carga elétrica, utilizou-se a relação de corrente e carga elétrica: $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$. Modelou-se o sistema (Fig. 1), de modo que

$$L \frac{d^2q(t)}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C} q(t) = v(t) \quad (1)$$

Neste método, o coeficiente da derivada de maior ordem necessita ser 1, então dividiu-se toda a expressão por L , da forma

$$\frac{d^2q(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{LC} q(t) = \frac{v(t)}{L} \quad (2)$$

Escreveu-se a Eq. (2) em seu modo característico

$$\left(D^2 + \frac{R}{L} D + \frac{1}{LC} \right) q(t) = \frac{v(t)}{L} \quad (3)$$

2.1. MÉTODO NO TEMPO: INTEGRAL DE CONVOLUÇÃO

A resposta total do sistema é da forma

$$q(t) = h(t) * v(t) \quad (4)$$

Em que $h(t)$ é a resposta ao impulso, $\delta(t)$.

A forma geral da resposta ao impulso pode ser escrita da forma

$$h(t) = b_0\delta(t) + [P(D)y_n(t)]u(t) \quad (5)$$

Neste caso, considerou-se $b_0 = 0$, pois o grau do polinômio característico da saída é maior que o da entrada ($N > M$).

Encontraram-se as raízes do polinômio da Eq. (3). Ressalta-se que para este caso, estudou-se o comportamento do sistema no caso de raízes complexas conjugadas, como segue

$$LD^2 + RD + \frac{1}{C} = 0$$

$$\Delta = R^2 - \frac{4L}{C}$$

$$\lambda_{1,2} = \frac{-R \pm \sqrt{R^2 - \frac{4L}{C}}}{2L} \quad (6)$$

Para forçar que o discriminante da Eq. (6) seja negativo ($\Delta < 0$), fez-se a seguinte consideração

$$\frac{4L}{C} > R^2$$

Então as raízes no formato complexo podem ser obtidas como

$$\lambda_{1,2} = \frac{-R \pm j\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}}{2L} \quad (7)$$

Em que j é a unidade imaginária.

Para fins de simplificação, determinou-se que

$$\alpha = -\frac{R}{2L} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}}{2L} \quad (9)$$

A partir das Eqs. (8) e (9), reescreveram-se as raízes do polinômio no formato

$$\lambda_{1,2} = \alpha \pm j\beta$$

Determinou-se $y_n(t)$ e a sua primeira derivada, respectivamente

$$y_n(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} \quad (10)$$

$$\dot{y}_n(t) = C_1 \lambda_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 \lambda_2 e^{\lambda_2 t} \quad (11)$$

Determinaram-se as constantes C_1 e C_2 , com as condições iniciais $y_n(0) = 0$ e $\dot{y}_n(0) =$

1.

Constituiu-se o sistema a partir das Eq. (10) e (11):

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Assim, determinou-se os valores das constantes

$$C_1 = \frac{-1}{2\beta} j \quad (13)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\beta} j \quad (14)$$

Substituiu-se Eq. (13) e (14) em Eq. (10):

$$y_n(t) = \frac{-1}{2\beta} j e^{(\alpha+j\beta)t} + \frac{1}{2\beta} j e^{(\alpha-j\beta)t} \quad (15)$$

Para simplificações posteriores, colocou-se a unidade imaginária no denominador, e evidenciou-se expressões comuns, como

$$y_n(t) = \frac{1}{2\beta j} (e^{(\alpha+j\beta)t} - e^{(\alpha-j\beta)t}) \quad (16)$$

Separou-se a parte exponencial complexa da parte real

$$y_n(t) = \frac{e^{\alpha t}}{j2\beta} (e^{\beta j t} - e^{-\beta j t}) \quad (17)$$

Utilizou-se a definição exponencial do *seno* para simplificação

$$\text{sen}(t) = \frac{e^{jt} - e^{-jt}}{j2}$$

Rearranjou-se a Eq (17)

$$y_n(t) = \frac{e^{\alpha t}}{\beta} \left(\frac{e^{j\beta t} - e^{-j\beta t}}{j2} \right)$$

Substituiu-se a parcela entre parênteses por sua expressão senoidal, da forma

$$y_n(t) = \frac{e^{\alpha t}}{\beta} \text{sen}(\beta t) \quad (18)$$

Encontrou-se o sinal $h(t)$, a resposta ao impulso sendo que $b_0 = 0$ e $P(D) = 1$

$$h(t) = y_n(t) \text{ para } t \geq 0 \quad (19)$$

Ou seja

$$h(t) = \frac{e^{\alpha t}}{\beta} \text{sen}(\beta t) \text{ para } t \geq 0 \quad (20)$$

Após encontrar a resposta ao impulso do sistema, foi necessário realizar a integral de convolução da resposta ao impulso com o sinal de entrada.

Definiu-se como o sinal de entrada, a função $v(t)$, como sendo o degrau unitário

$$v(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

Neste caso, utilizou-se a Eq. (2), com a EDO original dividida por L .

Realizou-se a convolução da resposta ao impulso com o sinal de entrada

$$q(t) = \frac{v(t)}{L} * h(t)$$

$$q(t) = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^{+\infty} v(t - \tau) h(\tau) d\tau \quad (21)$$

Como $v(t - \tau)$ é sempre 0 para um $t < 0$, o produto $v(t - \tau)h(\tau)$ também é 0.

Quando $t \geq 0$, o produto $v(t - \tau)h(\tau)$ é igual a $h(\tau)$.

Definiu-se então $q(t)$

$$q(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \frac{1}{L} \int_0^t h(\tau) d\tau, & t \geq 0 \end{cases} \quad (22)$$

Ou seja

$$q(t) = \frac{1}{L} \int_0^t h(\tau) d\tau, \text{ para } t \geq 0 \quad (23)$$

Como desejou-se obter o sinal $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$, utilizou-se o Teorema Fundamental do Cálculo: supôs-se que existe uma função $H(\theta)$ tal que $\frac{d}{d\theta}H(\theta) = h(\theta)$, ou seja, esta função $H(\theta)$ é a anti-derivada da resposta ao impulso $h(\theta)$.

Assim, para obter $i(t)$, diferenciou-se os dois lados da Eq. (23), da forma

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{1}{L} \frac{d}{dt} \int_0^t h(\tau) d\tau$$

Com o Teorema Fundamental do Cálculo

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{1}{L} \frac{d}{dt} (H(t) - H(0))$$

Como $H(0)$ é constante, derivou-se em relação ao tempo resulta em 0.

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{1}{L} h(t)$$

Portanto, concluiu-se que

$$i(t) = \frac{1}{L} h(t)$$

Assim, a equação diferencial que modela a intensidade de corrente do circuito RLC resolvida no tempo, resultou

$$i(t) = \frac{e^{\alpha t}}{\beta L} \text{sen}(\beta t) \quad (24)$$

As constantes α e β foram expressas em função dos valores de resistência, indutância e capacitância do sistema, como foram definidas anteriormente nas Eq. (8) e (9). Essas constantes são, respectivamente, parte real e parte imaginária das raízes do polinômio característico da Equação Diferencial.

2.2. MÉTODO NA FREQUÊNCIA: TRANSFORMADA DE LAPLACE

A resolução do sistema no domínio da frequência ocorreu a partir da aplicação da Transformada de Laplace na Eq. (2), em que considerou-se $v(t) = u(t)$, da forma

$$(Ls^2 + Rs + \frac{1}{C})Q(s) = \frac{1}{s} \quad (25)$$

Estabeleceu-se que

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (26)$$

Aplicou-se a Transformada de Laplace na Eq. (26), obteve-se

$$I(s) = sQ(s) \quad (27)$$

Substituiu-se a Eq. (27) em (25) e reescreveu-se

$$\left(Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} \right) \frac{I(s)}{s} = \frac{1}{s}$$

Isolou-se $I(s)$ e desenvolveu-se a expressão

$$I(s) = \frac{s}{s \left(Ls^2 + Rs + \frac{1}{C} \right)}$$

$$I(s) = \frac{1}{Ls^2 + Rs + \frac{1}{C}} \quad (28)$$

Dividiu-se a Eq. (28) por L , com o objetivo de deixá-la na forma canônica

$$I(s) = \frac{1}{L} \frac{1}{s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL}} \quad (29)$$

Para encontrar a Transformada de Laplace inversa inicialmente considerou-se a Eq. (7), como sendo as raízes do polinômio do denominador da Eq. (29)

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = 0 \quad (30)$$

Dessa forma, pode-se substituir na Eq. (30) por fatores de α e β , conforme Eqs. (8) e (9), seguinte relação

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = (s - \alpha)^2 + \beta^2$$

E obteve-se

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = \left[s - \left(-\frac{R}{2L} \right) \right]^2 + \left(\frac{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}}{2L} \right)^2$$

Realizaram-se as potências quadradas

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = s^2 + \frac{2R}{2L}s + \left(\frac{R}{2L}\right)^2 + \frac{\frac{4L}{C} - R^2}{4L^2}$$

Expandiram-se todos as parcelas

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{R^2}{4L^2} - \frac{R^2}{4L^2} + \frac{1}{CL}$$

Evidenciaram-se os coeficientes em termos da frequência complexa s , da forma

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL} = s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{CL}$$

Com essa relação, afirmou-se que a Eq. (29) pode ser escrita como

$$I(s) = \frac{1}{L} \frac{1}{(s-\alpha)^2 + \beta^2} \quad (31)$$

Utilizou-se a propriedade de deslocamento na frequência

$$e^{\alpha t} \text{sen}(\beta t) u(t) \leftrightarrow \frac{\beta}{(s-\alpha)^2 + \beta^2}$$

Adequou-se a Eq. (31), para a forma

$$I(s) = \frac{1}{\beta L} \frac{\beta}{(s-\alpha)^2 + \beta^2} \quad (32)$$

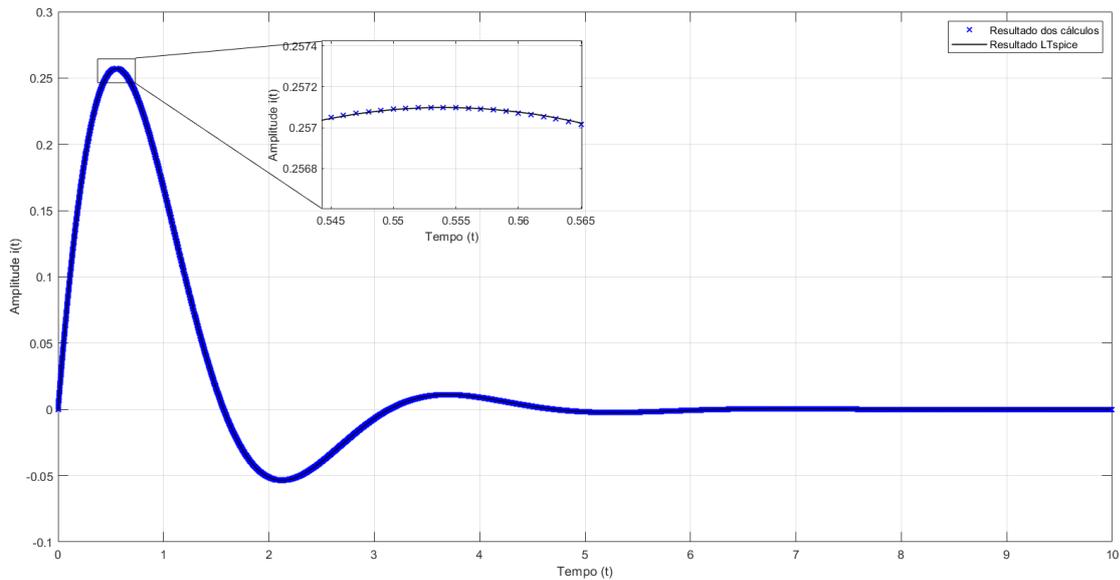
Por fim, realizou-se a Transformada de Laplace inversa de Eq. (32), como

$$i(t) = \frac{e^{\alpha t} \text{sen}(\beta t)}{\beta L} u(t) \quad (33)$$

3. RESULTADOS

Validaram-se os resultados na Figura 2, a partir da plotagem da forma de onda das Eqs. (24) e (33), utilizou-se $R = 2 \Omega$, $L = 1 H$, $C = 0,2 F$.

Figura 2. Representação da forma de onda da corrente elétrica.



4. CONCLUSÃO

Concluiu-se que, independentemente do método empregado para resolver as equações diferenciais, as soluções convergiram para a mesma forma de onda da corrente elétrica.

No entanto, a resolução no domínio do tempo se mostra consideravelmente mais onerosa, pois exige a realização de integrais de convolução. Por outro lado, a resolução no domínio da frequência é simplificada pelo uso de propriedades e corolários. Observou-se também que, devido ao discriminante negativo do sistema, a resposta será uma senoide amortecida.

REFERÊNCIAS

- [1] NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. 6. ed. São Paulo: LTC, 2012.
- [2] SEIFERT, N.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem Dinâmica de Circuito Elétrico Passivo no Domínio do Tempo Contínuo e Análise por meio dos Softwares Matlab® e Multisim®**. In: BARBOSA, F.C.. *Engenharia: a máquina que constrói o futuro*. 17ª ed. Piracanjuba-GO: Editora Conhecimento Livre, 2023. p.211-239. ISBN 9786553674240. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/231208523>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- [3] OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- [4] SILVA, V. A.; PONTIM, F. M.; OLIVEIRA, J. M. S.; OLIVEIRA, L.; ROSSINI, F. L.. **Aplicação da Transformada de Laplace para a Modelagem e Análise de um Circuito RLC de Três Malhas**.

In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/770-607f58f687b73453929fe56d0ac9d9ac034ab042bc0e64072b8b90768db27802.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024.

[5] TAKANO, G. V. B.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem e Simulação do Controle Não Linear e Variante no Tempo Aplicado à Dinâmica do Multifuncional T3-401S SYNTHIS Robô SCARA, Fabricante EPSON.**In: BARBOSA, F. C.. Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento. 11ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2024. p. 79-97. ISBN: 978-65-5367-538-4. Disponível em: <https://api.conhecimentolivre.org/ecl-api/storage/app/public/L.979-2024.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024. DOI: 10.37423/240709180

[6] REZENDE, L. G.; ROSSINI, F. L.. **Comparação de Algoritmos por Métodos Numéricos para Obtenção da Cinemática Inversa de Robô Manipulador SCARA.** In: BARBOSA, F.C.. Engenharia: a máquina que constrói o futuro - Vol. IX. 9ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2024. p. 48-64. ISBN 9786553674998. Disponível em: <https://api.conhecimentolivre.org/ecl-api/storage/app/public/L.932-2024.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024. DOI: 10.37423/240408906

[7] FERREIRA, L. A.; ROSSINI, F. L.; BROLIN, L. C.. **Modelagem e Análise de Estabilidade de um Drone Terrestre de Duas Rodas com Acionamento Diferencial.** In: SOARES, A. M.. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos – Vol. 11. Ponta Grossa: Aya Editora, 2024. p. 24-42. ISBN 9786553795150. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/livros/L627.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2024. DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.2

[8] ROSSINI, F. L.; SILVA JUNIOR, P. R. M.; ALCANTARA, C. V. B.. **Modelagem Dinâmica e Simulação do Sistema de Controle Não Linear do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi.** In: BARBOSA, F. C.. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 17ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 173-194. ISBN 9786553674240. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/231208504>. Acesso em: 08 ago. 2024. DOI: 10.37423/231208504

[9] BARROZO, Y. R.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem Matemática e Lei de Controle para o Robô Manipulador Puma 560.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1396-b59fad92f9135c91a83a846309bcaf932497a1424a6d7eae826994ff7772de78.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.

[10] BARBOSA, R. F. S.; GARCIA, L. R.; CUNHA, M. R.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem e Simulação da Cinemática Direta de um Robô Móvel de Três Rodas com Tração Diferencial.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1103->

4319d5d6514993af9a1f90540918b99cd1746e145f6cf690b5e0c0f62ece771c.pdf. Acesso em: 08 ago. 2024.

[11] SILVA JUNIOR, P. R. M.; ALCANTARA, C. V. B.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1242-5774dc898fc34571c5a99a2ce390c2fb2879ad8bbf64ce2679d20019d20ef389.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.

[12] REZENDE, L. G.; ROSSINI, F. L.. **Simulação da Cinemática Inversa de um Robô SCARA através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/10306e8692fec9f5f2ab4d8afc8731acc92f7728f53607852cc10cc16def5e9d3215.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.

[13] TAKANO, G. V. B.; TANK, J. S.; SILVA, L. A. S.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem e Simulação da Cinemática Direta do Multifuncional T3-401S Synthsis Robô SCARA, Fabricante Epson.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1238-7e7c319b5b15be5b653a4cc91d8e32a6d5ecd49ea2c7d2b3e6f1864d1066d620.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.

[14] LIMA, B. S.; ROSSINI, F. L.. **Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF.** In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/961-8a5a4bf29c285d0131b3a0fdedcf0d351f814c1672861b2f6b5887301a6ef784.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[15] ROSSINI, F. L.; ABREU, L. M.; OLIVEIRA, L. F. P.. **Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica.** In: SOARES, A. M.. Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos, 7. Ponta Grossa: Aya, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4>. Acesso em: 09 ago. 2024. DOI: 10.47573/aya.5379.2.211.4

[16] ROSSINI, F. L.; LIMA, B. S.; CORRÊA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. **Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson.** Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em:

<https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1092>. Acesso em: 09 ago. 2024. DOI: 10.56238/devopinterscie-248

[17] ABREU, L. M.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. **Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2022, UTFPR Santa Helena. Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Recife, Brasil: Even3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/1152426.1-2>. Acesso em: 09 ago. 2024. DOI: 10.29327/1152426.1-2

[18] SOUZA, E. D.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. **Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô Puma 560**. In: FREITAS, L. C.. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. Ponta Grossa: Atena, 2023. p. 87-109. ISBN 9786525809465. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>. Acesso em: 09 ago. 2024. DOI: 10.22533/at.ed.4652316018

[19] ROSSINI, F. L.; LOPES, J. M. P.; ABREU, L. M.; BARBOSA, R. F. S.; OLIVEIRA, L. F. P.. **Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador SCARA SR-6 IA através de um Aplicativo Matlab®**. In: PERBICHE, J. P.. Ciências exatas estudos e desafios. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: <https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995>. Acesso em: 09 ago. 2023. DOI: 10.35587/brj.ed.0001995

[20] CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Projeto e Análise de Desempenho de Algoritmos de Estimção Paramétrica Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência**. In: SOARES, A. M.. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 6. Ponta Grossa: Aya, 2023. p. 42-54. ISBN 9786553792555. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.186.3>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[21] COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F. L.. **Design and Simulation of a Model Reference Adaptive Control System Using the Recursive Least Squares Method with Forgetting Factor for Gain Adjustment**. In: Seven Editora. Development and Its Applications in Scientific Knowledge. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2023. p. 3499-3515. ISBN 978-65-84976-28-3. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-287>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[22] CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Design, simulation and analysis of challenges of parametric estimation algorithms applied to adaptive control by reference model**. In: Seven Editora. Development and its applications in scientific knowledge. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-247>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[23] COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F. L.. **Desenvolvimento e Implementação do Método dos MQR-FE Acoplado a um Sistema de CAMR**. In: BARBOSA, F. C.. Engenharia de Controle e Automação: estudos fundamentais. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN

9786553672604. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230107095>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[24] DONDA, R. A.; ROSSINI, F. L.. **Projeto, Simulação e Análise de um Sistema de Controle por Modo Deslizante Aplicado ao Conversor CC-CC Buck: estudo de caso**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548919-projeto-simulacao-e-analise-de-um-sistema-de-controle-por-modo-deslizante-aplicado-ao-conversor-cc-cc-buck--estu/>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[25] CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Comparação entre Estimadores Paramétricos Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548540-comparacao-entre-estimadores-parametricos-aplicados-ao-controle-adaptativo-por-modelo-de-referencia/>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[26] COLDEBELLA, H.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Comparação entre Algoritmos de Adaptação Paramétrica aplicados ao Projeto de Controlador Adaptativo por Modelo de Referência**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548802-comparacao-entre-algoritmos-de-adaptacao-parametrica-aplicados-ao-projeto-de-controlador-adaptativo-por-modelo-de/>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[27] COLDEBELLA, H.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Análise de algoritmos de estimação paramétrica aplicados ao projeto de controlador adaptativo por modelo de referência**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H.. A. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 47-58. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211114>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[28] CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. **Aplicação do método do gradiente e do método dos mínimos quadrados recursivo para análise de desempenho do controle adaptativo por modelo de referência**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H. A.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 91-100. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211118>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[29] DONDA, R. A.; ROSSINI, F. L.. **Projeto, simulação e análise de um sistema de controle por modo deslizante aplicado ao conversor cc-cc buck: estudo de caso**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H. A.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 14-24. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211112>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[30] ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.; GIESBRECHT, M.. **Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos**. In: AYOUB, J. P.; OLIVEIRA, M. R. N.. Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade - Volume 2. Guarujá: Científica Digital, 2021. p. 284-302. ISBN 9786589826804. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210404090>. Acesso em: 09 ago. 2024.

[31] ROSSINI, F. L.. **Métodos de Filtragem, Estimação e Controle Adaptativo Indireto Aplicados a Sistemas de Teleoperação Bilateral**. pt. PhD thesis. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade Estadual de Campinas, 2020, p. 92. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_5352e51a243f79505f3fc67ff71075ee. Acesso em: 09 agos. 2024.

[32] FIGUEIREDO, G.; SOUZA, J. C.; OLIVEIRA, P. H. M.; ROSSINI, F. L.. **Solução e Análise das Formas de Onda de Sistema Linear, Discreto e Invariante no Tempo**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1395-73709f521d592983364c94fcf5bc79ed558665009290a70f6f02434daaebf35a.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024.

[33] ANDRADE, P. A.; SILVA, L. E. C.; ROSSINI, F. L.. **Análise de Circuito Elétrico RLC de Três Malhas via Transformada de Laplace com Softwares Matlab® e LTspice®**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1385-555f8de349bbc8aa7c8bc5fe5621a7bdcf369b3d4e555e681528449d05d62fed.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2024.

[34] SEIFERT, N.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem no Domínio do Tempo e Solução no Domínio da Frequência de Circuito Passivo Chaveado de Três Malhas**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/431-2c8e0637c263042c2cda7279ab9152729265528f16adf19a312676ceb5a58469.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2024.

[35] SANTOS, O. A. P.; BEZERRA, M. S.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1119-273fdd50d70f957c2049c4cb733bbfbc3a3ac140015f5ccc37511e31b541e501.pdf>. Acesso em: 01 set. 2024.

[36] MARAN, M. E. S.; PRADELA, W. G. L.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem no Domínio do Tempo, Discretização com Segurador de Ordem Zero e Simulação Computacional de um Circuito Passivo**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação

Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/554-15241c3f7833f712d1aef527331266986fdec801538fed9005ecb5bd0b909d2c.pdf>. Acesso em: 04 set. 2024.

[37] LUZ, E. C.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem, Solução e Análise de Circuito RLC Paralelo via Transformada de Laplace e uso dos Softwares Matlab® e LTspice®**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1378-62571b21cf94861b1535847e22286c433bfddd7073015dfa8d932782d128a7b9.pdf>. Acesso em: 04 set. 2024.

[38] SILVA, V. A.; OLIVEIRA, L.; SEIFERT, N.; OLIVEIRA, J. M. S.; PONTIM, F. M.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem no Domínio do Tempo e Aplicação da Transformada de Laplace na Solução e Análise de um Circuitos RLC com Três Malhas**. In: FONTGALLAND, I. L.. Cidades inteligentes e novos modelos industriais - Vol. 2. Campina Grande: Amplla Editora, 2023. p. 62-84. ISBN 9786553811324. Disponível em: <https://doi.org/10.51859/amplla.cin3224-5>. Acesso em: 4 set. 2024.

[39] SANTOS, O. A. P.; BEZERRA, M. S.; ROSSINI, F. L.. **Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado**. In: BARBOSA, F. C.. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 15ª ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 89-114. ISBN 9786553673731. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230808076>. Acesso em: 4 out. 2024.

[40] LATHI, B. P. **Sinais e Sistemas Lineares**. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2006.

[41] KUO, Benjamin C. **Sistemas de Controle Automático**. 9. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

CAPÍTULO XIX

REVISÃO NARRATIVA SOBRE A INTEGRAÇÃO BIM E GIS NA INFRAESTRUTURA: APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS

NARRATIVE REVIEW ON THE INTEGRATION BETWEEN BIM AND GIS IN INFRASTRUCTURE: APPLICATIONS AND PERSPECTIVES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-19

Antônio Soares Barros ¹
Carlos Wagner Oliveira ²
Estelita Lima Candido ³

¹ Mestrando em Desenvolvimento Regional Sustentável. Universidade Federal do Cariri – UFCA

² Professor do mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável. Universidade Federal do Cariri – UFCA

³ Professora do mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável. Universidade Federal do Cariri – UFCA

RESUMO

Realizou-se uma revisão narrativa sobre a integração BIM e GIS no setor de infraestrutura da construção civil. Baseado em artigos acadêmicos da OpenAlex, o estudo analisa a quantidade de publicações, os autores com mais publicações e as aplicações dessa combinação tecnológica para aprimorar o planejamento, gestão e operação de projetos de infraestrutura. A revisão identifica avanços tecnológicos e metodológicos, ressaltando benefícios como melhor visualização dos dados espaciais e otimização da tomada de decisões, além de abordar desafios como interoperabilidade e compatibilidade de formatos. O estudo conclui que a integração BIM-GIS tem melhorado a gestão das infraestruturas, facilitando monitoramento e manutenção, e sugere caminhos para a evolução futura dessas tecnologias.

Palavras-chave: BIM. GIS. Integração. Infraestrutura. Interoperabilidade.

ABSTRACT

A narrative review was carried out on the integration of BIM and GIS in the civil construction infrastructure sector. Based on academic articles from OpenAlex, the study analyzes the number of publications, the authors with the most publications and the applications of this technological combination to improve the planning, management and operation of infrastructure projects. The review identifies technological and methodological advances, highlighting benefits such as better visualization of spatial data and optimization of decision making, in addition to addressing challenges such as interoperability and format compatibility. The study concludes that BIM-GIS integration has improved infrastructure management, facilitating monitoring and maintenance, and suggests paths for the future evolution of these technologies.

Keywords: BIM. GIS. Integration. Infrastructure. Interoperability.

1. INTRODUÇÃO

Embora a metodologia BIM (Building Information Modeling) ou Modelagem de Informação da Construção, tenha sido amplamente estudada e implementada em diversos campos da engenharia civil, sua aplicação nas obras de infraestrutura ainda é considerada incipiente. Este tipo de obra representa um significativo desafio para países em desenvolvimento, devido à complexidade inerente ao projeto e à execução, além dos elevados investimentos públicos envolvidos (STRIEDER et.al 2022).

Nos últimos anos, o BIM tem se consolidado como uma metodologia inovadora e eficiente no desenvolvimento de empreendimentos de engenharia e arquitetura. O BIM cobre todas as fases de uma construção, desde a concepção e o projeto até o planejamento, execução, gestão e manutenção, integrando o ciclo de vida da obra em um ambiente comum de dados. Dada a clara vantagem de sua implementação, a metodologia tem sido cada vez mais adotada em setores além dos inicialmente abrangidos, como na infraestrutura (MCGRAW-HILL, 2012).

O termo GIS, que significa Geographic Information System em inglês, refere-se a Sistemas de Informação Geográfica. Os processos de infraestrutura urbana empregam mecanismos e plataformas digitais para coletar, mapear e distribuir informações em diversas escalas urbanas (JESUS, 2021).

A integração entre BIM e GIS oferece um grande potencial para apoiar práticas e ferramentas computacionais voltadas para Cidades Inteligentes. No entanto, é necessário estabelecer uma dinâmica eficaz entre essas plataformas para minimizar a perda de informações durante a troca e coleta de dados (importação e exportação). Os principais desafios dessa integração incluem a leitura e conversão de dados, já que as plataformas foram desenvolvidas para propósitos diferentes (JESUS, 2021).

A principal barreira para a comunicação entre BIM e GIS é a troca de informações de forma a garantir a interoperabilidade entre os arquivos, evitando a perda de dados durante os processos de importação e exportação. O BIM utiliza o padrão Industry Foundation Classes (IFC), desenvolvido e mantido pelo consórcio *BuildingSMART*, para a troca de informações. O IFC passou por várias atualizações ao longo dos anos para melhorar sua eficiência. Em contraste, o GIS opera com estruturas definidas pelo usuário e não segue padrões

estabelecidos ou normatizados como o IFC, o que dificulta a transição de dados para o BIM e, conseqüentemente, a modelagem precisa (DERITTI, 2018).

Objetivou-se realizar uma revisão narrativa sobre a integração entre Building Information Modeling (BIM) e Geographic Information Systems (GIS) no setor de infraestrutura da construção civil, focando em como essas tecnologias combinadas podem otimizar o planejamento e a gestão de projetos. O BIM fornece representações digitais detalhadas e colaborativas, enquanto os GIS oferecem dados espaciais e contextuais essenciais. A integração dessas ferramentas promete melhorar a coordenação, a eficiência e a sustentabilidade dos projetos, aproveitando as capacidades analíticas dos GIS e a riqueza dos modelos tridimensionais do BIM. A revisão aborda os avanços, desafios e melhores práticas nessa área, ilustrando com exemplos práticos e estudos de caso.

2. METODOLOGIA

Este estudo se trata de uma revisão narrativa da literatura, abordando o tema BIM e GIS aplicado na infraestrutura. A revisão narrativa é um tipo de estudo que visa proporcionar uma visão abrangente e interpretativa sobre o estado atual do conhecimento nesta área específica.

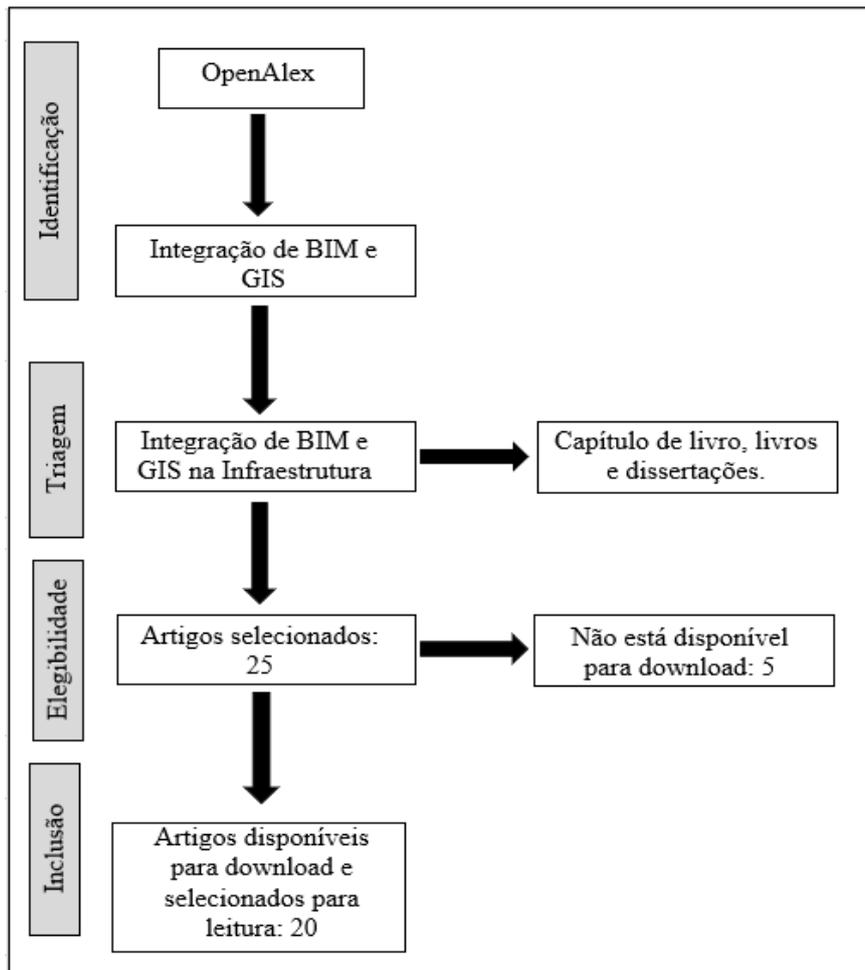
Para a pesquisa, foi utilizada a OpenAlex, lançada em 2022, uma base de dados bibliométrica de acesso aberto que fornece informações sobre artigos científicos, autores e instituições. A escolha de utilizar exclusivamente a OpenAlex se justifica pela sua abrangência e atualidade. Dada a qualidade e a quantidade de dados oferecidos por essa plataforma, ela foi considerada suficiente para atender às necessidades da pesquisa, cobrindo adequadamente as informações necessárias sobre a integração de BIM e GIS na infraestrutura.

Optou-se pelo software gratuito VOSviewer que pode ser obtido diretamente no site <https://www.vosviewer.com/>, devido às seguintes razões: (a) oferece uma interface gráfica robusta e intuitiva, (b) possui documentação extensa que facilita seu uso, (c) é compatível com a plataforma OpenAlex e (d) tem baixa demanda computacional, além de ser um projeto gratuito.

No início da pesquisa, foram usados os descritores BIM e GIS. Em seguida, foram aplicados filtros para focar especificamente na integração na infraestrutura da construção civil.

Após a realização da pesquisa, foi se aplicando filtros para restar apenas artigos relacionados ao tema de interesse, sendo assim foi excluído na primeira etapa trabalhos relacionados a integração BIM e GIS no geral, em seguida excluídos trabalhos de capítulos de livros, livros e dissertação, restando assim apenas 25 artigos para leitura, no entanto apenas 20 artigos estavam disponíveis para download, para análise e desenvolvimento da pesquisa, como mostra Figura 1.

Figura 1: Fluxograma de artigos selecionados para pesquisa



Fonte: Autoria própria.

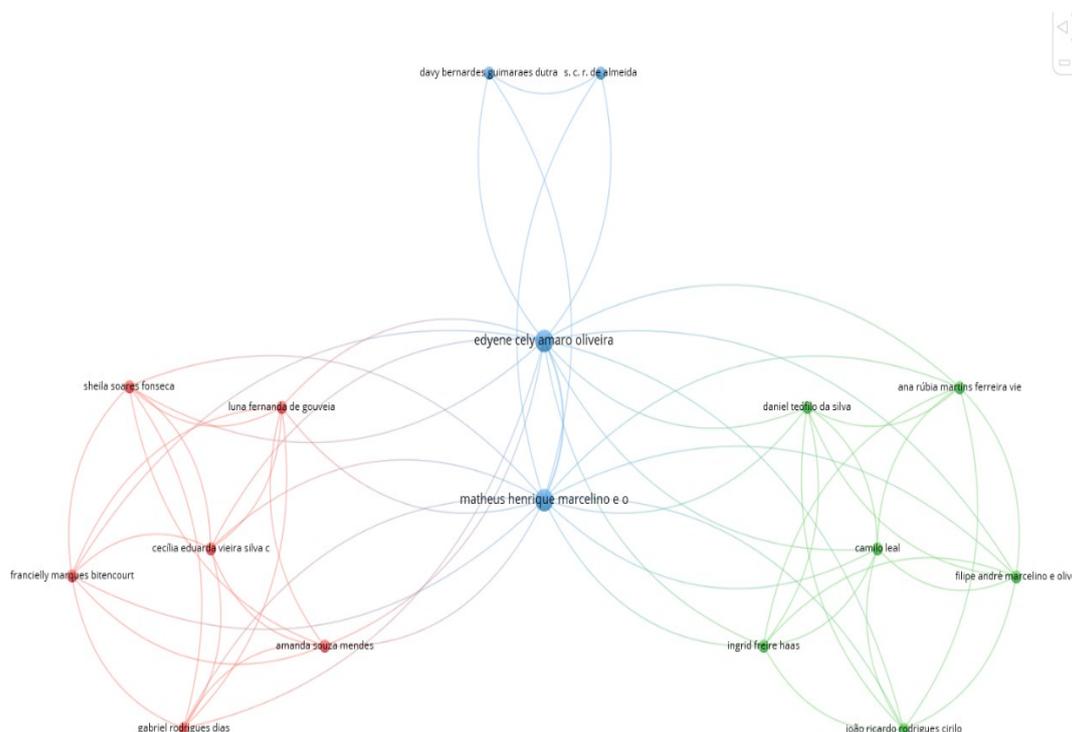
O processo de revisão iniciou-se com a identificação de estudos relacionados a integração BIM e GIS aplicado a infraestruturas, utilizando a OpenAlex como base principal de pesquisa. Foram selecionadas as palavras-chave e operadores para a busca: "Integração BIM e GIS" e "Integração de BIM e GIS aplicado a infraestrutura. Esta estratégia de busca foi aplicada na OpenAlex para garantir a abrangência e relevância dos artigos encontrados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Foram encontrados um total de 65 artigos na OpenAlex relacionados ao tema integração BIM e GIS, além de 34 capítulos de livros, 31 dissertação e 3 livros. Logo em seguida com o filtro Integração de BIM e GIS aplicado a infraestrutura, foram encontrados 25 artigos, 33 capítulos de livros, 23 dissertações e 3 livros. A pesquisa foi conduzida em 03 de agosto de 2024, as 21h18.

A seguir, apresentamos uma rede temática de palavras que ilustra os autores que têm contribuído significativamente para a pesquisa sobre a integração de BIM e GIS aplicada à infraestrutura. No total, foram identificados 183 autores e coautores envolvidos nesta área de estudo. Essa rede temática de palavras ilustrada na Figura 2, oferece uma visão clara das principais personalidades acadêmicas e colaborativas que têm avançado o conhecimento e a prática neste campo, refletindo a diversidade e o alcance das contribuições realizadas por esses pesquisadores.

Figura 2. Rede temática de autores com mais publicações disponíveis na OpenAlex



Fonte: Autoria própria.

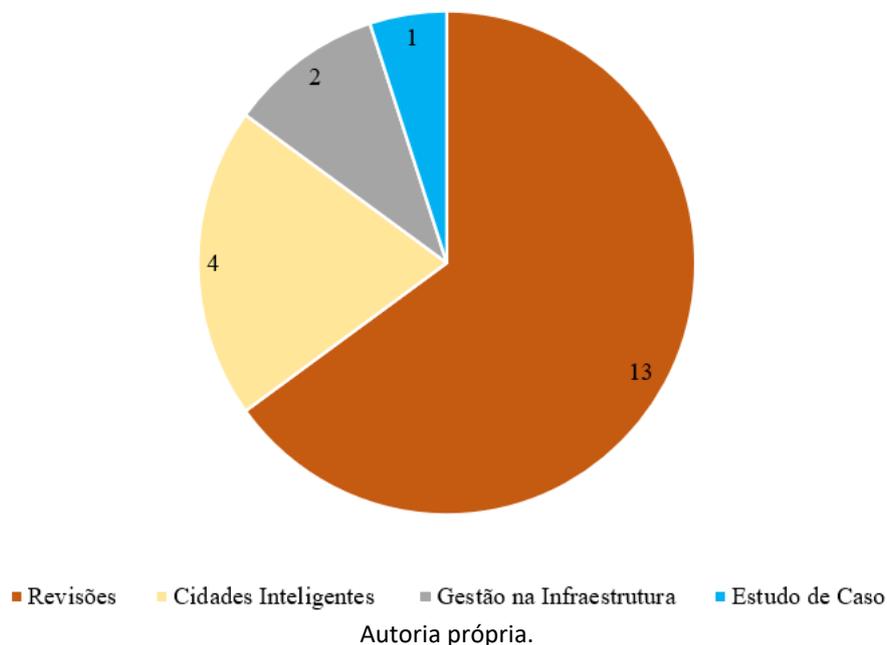
A rede temática gerada a partir dos autores com mais publicações disponíveis na OpenAlex oferece uma visualização intuitiva das principais áreas de pesquisa e tendências emergentes na literatura acadêmica.

Para analisar a literatura levantada sobre a integração entre BIM (Building Information Modeling) e GIS (Geographic Information Systems) na infraestrutura, apresentamos abaixo a Figura 3 com os resultados da pesquisa.

Dos 25 artigos encontrados, 5 não estavam disponíveis, e, portanto, apenas 20 foram organizados em 4 categorias distintas: (i) Revisões, (ii) Cidades Inteligentes, (iii) Gestão na Infraestrutura e (iv) Estudo de Caso. A Figura 3 ilustra a distribuição quantitativa desses estudos. A seguir, serão detalhadas as principais pesquisas relacionadas a cada uma dessas categorias.

Figura 3. Distribuição dos artigos em categorias

Fonte:



3.1. REVISÕES

Rosa *et al.* (2023) analisaram o estado da arte da produção científica nacional e internacional sobre a integração BIM e GIS no contexto das cidades inteligentes, com foco no desenvolvimento da gestão e planejamento urbano. A análise sugeriu que a falta de estudos sobre a interoperabilidade entre GIS e BIM representa uma lacuna significativa que deve ser abordada em pesquisas futuras, considerando sua importância para o desenvolvimento social, ambiental e econômico das cidades.

Dias e Oliveira (2021) objetivaram analisar a aplicabilidade BIM e SIG no contexto das *Smart Cities*, destacando suas principais potencialidades e desafios. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica dos estudos mais relevantes, com ênfase na integração dessas tecnologias e na discussão dos conceitos de City Information Modeling (CIM). A

interoperabilidade entre BIM e SIG é um ponto central, pois a colaboração eficiente entre esses sistemas pode facilitar o desenvolvimento das *Smart Cities*.

Logatti e Nazareth (2022) realizaram uma análise bibliométrica utilizando os softwares VOSViewer e R. Os resultados obtidos a partir de consultas realizadas com a combinação das palavras-chave "City Information Modeling" e "*Smart Cities*," bem como sua relação no contexto contemporâneo das cidades.

A análise bibliométrica revelou uma produção acadêmica crescente sobre a integração entre BIM e GIS desde 2012, destacando a importância emergente do tema. No entanto, foi identificado um número limitado de publicações sobre o tema.

Para isso, foi adotada a plataforma Web of Science como base de dados científica, e o recorte incluiu artigos publicados em inglês em periódicos entre os anos de 2010 e 2020.

Almeida e Andrade (2015) buscaram investigar preliminarmente como a interseção entre BIM e GIS pode contribuir para a criação de um sistema integrado. Focado na interoperabilidade entre essas duas tecnologias, destacando como a integração dos dados BIM e GIS pode beneficiar concessionárias públicas e órgãos de gestão urbana.

Nascimento *et al.* (2023) tiveram como objetivo examinar pesquisas sobre a aplicação do BIM (Modelagem da Informação da Construção) em infraestruturas rodoviárias e avaliar como essa área tem evoluído, além de identificar suas futuras direções. Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura que envolveu a análise de 81 artigos obtidos através de buscas nas bases de dados WoS (Web of Science) e Scopus.

Os resultados destacaram que a combinação do BIM com tecnologias como GIS (Sistemas de Informação Geográfica), LiDAR (Light Detection and Ranging) e UAVs (Veículos Aéreos Não Tripulados) pode otimizar o processo de projeto e melhorar a coleta de dados sobre estruturas existentes. Essa integração tecnológica facilita a construção e a manutenção de infraestruturas rodoviárias e proporciona uma gestão mais eficiente dos ativos rodoviários.

Liberal *et al.* (2023) apresentaram um estudo que analisou a literatura sobre a aplicação do BIM (Modelagem da Informação da Construção) no setor de transportes, utilizando uma revisão bibliográfica na plataforma Scopus e mapeamento de palavras-chave e citações por meio do software VOSViewer. A análise revelou várias áreas principais de pesquisa, incluindo o uso do BIM em projetos e obras de infraestrutura, a integração com tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), Realidade Virtual (VR), Big Data e Gêmeos Digitais.

Machado e Mussi (2023) revisaram o uso de design algorítmico-paramétrico em urbanismo e gestão CIM, analisando 37 dos 240 artigos encontrados. As ferramentas mais comuns focam em eficiência energética, planejamento de tráfego, e morfologia urbana. Identificou-se a importância crescente de aplicativos e plugins para análises urbanas e 23 bancos de dados para processamento espacial. A adoção dessas ferramentas deve ser incentivada pelos gestores públicos.

Souza e Bueno (2019) analisaram o progresso das produções científicas sobre City Information Modelling (CIM), incluindo colaborações internacionais e tendências de pesquisa. A conclusão destaca o aumento das publicações na área, evidenciando uma relação com eventos globais, como a reunião da ONU sobre Urbanização e a Agenda de Desenvolvimento Sustentável 2030.

Barbosa e Pereira Filho (2021) avaliaram a produção científica sobre City Information Modeling (CIM) no planejamento e gestão urbana no Brasil de 2008 a 2018. Constatou-se um aumento nas publicações, com foco na conceituação do CIM e seu uso em ferramentas computacionais para planejamento e gestão sustentável. As principais publicações ocorreram em periódicos e no ENANPARQ, com um índice baixo de pesquisas avançadas.

Knopp e Paraizo (2021) exploraram como o City Information Modeling (CIM) pode melhorar a eficácia dos planos diretores universitários e sua aplicação em campi, com potencial para ser ampliado para a escala urbana. A pesquisa, em fase inicial, utilizará uma abordagem qualitativa e exploratória para construir o referencial teórico e uma aplicação prática para validar o modelo. O objetivo é contribuir para a conceituação e prática do CIM no contexto acadêmico.

Morais *et al.* (2023) visaram delinear fronteiras do conhecimento e identificar direções futuras para o uso do Building Information Modeling (BIM) em gestão, operação e manutenção de instalações. Utilizando um método misto de revisão, foram analisadas 1004 publicações selecionadas da base de dados Scopus. Os resultados indicam um crescimento na área, com aplicações expandidas do BIM e uma promissora integração com tecnologias emergentes.

Silva e Cuperschmid (2022) visaram apresentar resultados qualitativos de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o uso da Modelagem da Informação da Construção Histórica (HBIM) para a documentação de danos em patrimônio construído. Concluíram que a HBIM oferece novas possibilidades para a documentação de danos, com aplicações em

avaliação estrutural e gestão de restauro. No entanto, há desafios na interoperabilidade das ferramentas que precisam ser melhorados para uma gestão eficaz das informações.

Jaime e Blumenschein (2023) exploraram o desenvolvimento de uma estrutura conceitual para modelos de City Information Modeling (CIM) e discute soluções para sua aplicação na análise e gestão urbana inteligente, utilizando o método Design Science Research.

A pesquisa revela que tecnologias inovadoras, como Internet das Coisas, Inteligência Artificial e Building Information Modeling, são essenciais para a gestão urbana inteligente. A integração dessas tecnologias é crucial para o desenvolvimento de cidades inteligentes e a análise eficaz de informações espaciais.

3.2. CIDADES INTELIGENTES

Na categoria de cidades inteligentes, foram identificados 4 artigos que abordam essencialmente como a integração entre BIM e GIS pode proporcionar benefícios significativos para o desenvolvimento de cidades inteligentes. Esses estudos exploram como a combinação dessas tecnologias pode melhorar o planejamento urbano, otimizar a gestão de infraestruturas e promover uma abordagem mais eficiente e integrada para o desenvolvimento e manutenção das cidades.

Giesta *et al.* (2023) apresentaram um artigo com objetivo de propor um protocolo estruturado que auxilie na utilização de TICs no planejamento urbano. Foi observado que o uso do protocolo PETIC-PU facilita o uso do City Information Modeling (CIM) ao integrar GIS e BIM, o que melhora a integração de dados, a inteligência geográfica e a visualização das informações. Isso contribui para o planejamento urbano e o desenvolvimento de cidades inteligentes.

Santos e Corrêa (2015) realizaram uma discussão teórica, de caráter exploratório, para entender os possíveis caminhos para o desenvolvimento do CIM. O trabalho se concentrou em uma discussão teórica e exploratória para identificar possíveis caminhos para a evolução do CIM.

Ferreira *et al.* (2022) apresentaram trabalho cujo o objetivo foi investigar a aplicação de novas tecnologias na produção do espaço construído; assim como suas contribuições na sustentabilidade desses ambientes. O estudo constatou que novas tecnologias são tendências

que podem contribuir significativamente para o Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Amorim (2016) apresentou um trabalho que examina a interconexão entre Cidades Inteligentes e City Information Modeling (CIM), argumentando que esses conceitos são complementares, e não concorrentes. O artigo destaca a relevância desses conceitos para enfrentar os desafios urbanos do século XXI, com base em análises da ONU sobre o crescimento populacional global e o desenvolvimento de novas cidades para acomodar o aumento da população.

Conclui-se que para o avanço das cidades inteligentes, é necessário desenvolver novas tecnologias e criar modelos de dados, com esforços já em andamento pelos padrões IFC e CityGML. A formação de pessoal técnico também é crucial, mas frequentemente ignorada pelas administrações municipais.

3.3. GESTÃO NA INFRAESTRUTURA

Na busca realizada, foram encontrados apenas 2 trabalhos focados na gestão de infraestrutura. Esses estudos abordam aspectos específicos da gestão, oferecendo informações sobre as práticas e desafios na administração de projetos e sistemas de infraestrutura.

Maselli e Masiero (2023) objetivaram desenvolver uma ferramenta geoespacial computacional para auxiliar no processo de licenciamento predial da cidade de São Carlos, adotando o método de verificação de conformidade do código. Para esse fim foi desenvolvido um plugin de SIG, onde, a partir de dados vetoriais, a ferramenta realiza uma verificação de parâmetros com base nos valores de referência do Plano Diretor Municipal.

Fernandes et al. (2021) investigaram a percepção dos profissionais sobre a aplicação do BIM em conjunto com a Gestão de Riscos (GR) em projetos de infraestrutura, devido à alta exposição a riscos desses empreendimentos. Foi conduzida uma pesquisa por meio de um questionário para obter uma visão geral sobre o uso, os benefícios e as dificuldades na implementação dessas metodologias. O estudo identificou as áreas que mais se beneficiam pelo uso do BIM na GR e as barreiras a serem superadas para maximizar os benefícios em tais projetos.

3.4. ESTUDO DE CASO

Apenas 1 artigo se trata de estudo de caso, Santos *et al.* (2023) apresentaram um plano de implantação para a gestão de ativos da administração pública com o auxílio da integração entre o BIM e GIS. A proposta buscou adequar essa relação e promover discussões de como ela pode contribuir em decisões mais assertivas no planejamento e gestão de patrimônios imobiliários públicos por meio de um estudo de caso.

O estudo constatou que a integração entre BIM e GIS melhora a gestão de ativos ao proporcionar um Ambiente Comum de Dados que facilita a modelagem e o controle eficiente dos ativos. A aplicação de conceitos GEOBIM permite uma visualização completa dos imóveis públicos, aumentando a transparência e a eficiência na administração pública.

4. CONCLUSÕES

A presente revisão analisou ao final 20 de 25 artigos relevantes na literatura, focando na integração entre BIM e GIS aplicada a infraestruturas disponíveis na OpenAlex. A análise categorizada dos estudos revelou que a combinação dessas tecnologias tem o potencial de transformar, significativamente, a gestão e operação das infraestruturas existentes, com destaque para o contexto de cidades inteligentes.

A integração BIM-GIS permite uma maior precisão na coleta e análise de dados, facilitando simulações detalhadas que são cruciais para o gerenciamento de projetos e operações de construção. Isso é especialmente relevante para a gestão pública, que busca otimizar os recursos e garantir a operação eficaz das estruturas ao longo de seu ciclo de vida. O uso dessas tecnologias conjuntas proporciona uma abordagem mais robusta para a coleta de dados, contribuindo para um planejamento e execução mais eficientes e bem fundamentados.

No entanto, apesar dos avanços promissores, ainda existem várias áreas que necessitam de desenvolvimento para melhorar a aplicação do BIM-GIS na infraestrutura. É essencial explorar como a implementação do BIM em contextos específicos, como o brasileiro, pode influenciar aspectos contratuais, procedimentos de licitação e as estruturas internas das instituições responsáveis por infraestruturas de transporte.

Além disso, é necessário avançar na comunicação e troca de informações durante a fase de construção, para assegurar uma interoperabilidade eficaz entre os diferentes sistemas e tecnologias utilizados. As pesquisas também devem se expandir para cobrir as fases de

planejamento, requalificação e demolição, com foco em desenvolver projetos mais sustentáveis e em conformidade com questões ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior do Ministério da Educação – (CAPES), ao Governo do Estado do Ceará, à Universidade Federal do Cariri – UFCA – Brasil e à Coordenação do programa de mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável – PRODER.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- BARBOSA, I. S.; PEREIRA FILHO, Z. R. A produção científica sobre CIM no planejamento e gestão urbana no Brasil. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 12, p. e021013, 2021. DOI: Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8658544>. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- DERITTI, M. D.; & FREIRE, F. (2018). O surgimento do conceito CIM através da interoperabilidade entre BIM e GIS e sua importância para as SMARTS CITIES. *Revista Técnico-Científica*, (13).
- DIAS, A. J.; DE OLIVEIRA, J. P. L. CIM in the context of smart cities: how the interoperability between BIM and SIG can assist the development of smart cities. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. l.], v. 9, n. 70, 2021. DOI: 10.17271/2318847297020212811. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2811. Acesso em: 4 ago. 2024.
- FERNANDES, A. B. P.; LIMA, G. B.; VIEIRA, L. S.; REGIS, M. R. S.; SANTOS, E. T.; SOUZA, F. R.; OLIVEIRA, L. H.; FERREIRA, S. L.; MELHADO, S. B. Uso do BIM para a gestão de riscos em empreendimentos de infraestrutura no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–15. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.605. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/605>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- FERREIRA, R.; CARRANZA, E.; JUNIOR, P.; PANICO, C. DOMÓTICA, INMÓTICA E URBÓTICA: Uma abordagem transdisciplinar do projeto. *Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 45–54, 2022. DOI: 10.21680/2448-296X.2022v7n2ID27719. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/27719>. Acesso em: 4 ago. 2024.

- GIESTA, J. P.; COSTA NETO, A.; C, T, G. Discussões acerca do uso da tecnologia CIM como sistema de apoio ao planejamento urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2413. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2413>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- JAIME, I.; BLUMENSCHNEIN, R. City Information Modeling: Desenvolvimento de processos para uma gestão urbana inteligente. In: JESUS, G. C. Síntese de escopo de pesquisas que integram BIM e GIS aplicadas à infraestrutura urbana. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/19102>.
- KNOPP, L.; PARAIZO, R. Plano diretor como instrumento da gestão universitária: uma abordagem sob a ótica da modelagem da informação da cidade (CIM). In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2021, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2021. p. 612–618. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/singeorb>. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- LIBERAL, B. B.; MAIA, M. E. A.; PEREZ PALHA, R. BIM aplicado ao planejamento de tráfego: um panorama geral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–7. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2607. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2607>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- LOGATTI, B.; NAZARETH, C. R. City Information Modeling (CIM) and Smart Cities (SC): A Bibliometric Analysis with VOSViewer and R Software with Bibliometrix Package (2010-2020). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, [S. l.], v. 10, n. 81, 2022. DOI: 10.17271/23188472108120223349. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/3349. Acesso em: 4 ago. 2024.
- MACGRAW HILL CONSTRUCTION. *The Business Value of BIM for Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology*. Belford, 2012.
- MACHADO, D. Z.; MUSSI, A. Q. Usabilidade de plugins de design paramétrico como ferramenta de suporte em urbanismo e CIM. *Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade*, v. 04, n. 12, p. 202–213, 2023. ISSN 2675-7524. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372362868_Usabilidad_de_los_plugins_d_e_diseno_parametrico_como_herramienta_de_apoyo_en_urbanismo_y_CIM. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- MASELLI, L. Z.; MASIERO, E. (2023). Instrumento de verificação de conformidade do código urbanístico baseado em dados geoespaciais para licenciamento de construções. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 19(3), 153. ISSN 1980-0827 – Volume 19, número 3, 2023.

- MORAIS, G. A. T. de; ALMEIDA FILHO, A. T. de; PALHA, R. P. BIM para gerenciamento, operação e manutenção de instalações: revisão cientométrica e sistemática. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 24, e131575, jan./dez. 2024. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100712>. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- NASCIMENTO, C. R. S. de M. S.; SANTOS, G. J. R. dos; ALMEIDA-FILHO, A. T. de; PALHA, R. P. (2023). BIM para infraestruturas rodoviárias: uma revisão sistemática. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 4(00), 1–9. Disponível em: <https://doi.org/10.46421/sbtic.v4i00.2408>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- ROSA, S. C.; MARCHIORI, F. Fs.; REGINATO, V. S. C.; SILVA, R. F. T. Estado da arte da integração GIS x BIM no contexto das cidades inteligentes. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*, 13., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–10. DOI: 10.46421/sibragec.v13i00.2632. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/2632>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- SANTOS, M. M. et al. PLANO DE IMPLANTAÇÃO GEOBIM: UM ESTUDO DE CASO EM ÓRGÃO PÚBLICO. In: *Congresso Consad de Gestão Pública. Anais...* Brasília (DF): Centro de Convenções Ulysses Guimarães, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/xii-congresso-consad-de-gestao-publica-312346/631829-PLANO-DE-IMPLANTACAO-GEOBIM--UM-ESTUDO-DE-CASO-EM-ORGAO-PUBLICO>. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- SILVA, F. B. L. da; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 13, p. e022003, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8663653>. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- SOUZA, L.; BUENO, C. Análise bibliométrica de produções científicas de City Information Modelling. *Revista Nacional de Cidades*, v. 07, n. 53, p. 1-15, 2019. ISSN 2318-847. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338186123_Analise_bibliometrica_de_pr oducoes_cientificas_de_City_Information_Modelling. Acesso em: 04 de ago. 2024.
- STRIEDER, H. L.; SCHREINERT, G. G. (2022). *METODOLOGIA BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA*.

CAPÍTULO XX

MERCADO LIVRE DE ENERGIA: LEGISLAÇÃO, HISTÓRICO E OPORTUNIDADES

FREE ENERGY MARKET: LEGISLATION, HISTORY, AND OPPORTUNITIES

DOI: 10.51859/ampla.pet4499-20

Felipe Santana Santos ¹

¹ Graduado e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Sergipe. Professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* São Mateus.

RESUMO

O Mercado Livre de Energia, também conhecido como Ambiente de Contratação Livre (ACL), permite a negociação direta entre consumidores e geradores, promovendo maior competitividade e eficiência no setor elétrico brasileiro. Desde a reforma de 1995, o mercado tem evoluído continuamente, com marcos como a Lei nº 9.074/1995 e a criação da CCEE. A flexibilidade do ACL oferece vantagens como a redução de custos e a possibilidade de contratar energia renovável, mas também impõe desafios, como a volatilidade dos preços e a complexidade regulatória. Este capítulo explora o histórico, as legislações chave, os tipos de contratos e os procedimentos necessários para migração ao ACL, além de destacar os principais desafios e oportunidades do mercado. Conclui-se que o sucesso no ACL depende de uma gestão eficiente, estratégias de mitigação de riscos e adaptação às mudanças tecnológicas e regulatórias.

Palavras-chave: Mercado Livre de Energia. Contratos. Competitividade. Sustentabilidade. máximo.

ABSTRACT

The Free Energy Market, also known as the Free Contracting Environment (ACL), allows direct negotiation between consumers and generators, promoting greater competition and efficiency in Brazil's electricity sector. Since the 1995 reform, the market has continuously evolved, with milestones such as Law No. 9.074/1995 and the creation of CCEE. The flexibility of ACL offers advantages like cost reduction and the possibility of contracting renewable energy, but also poses challenges like price volatility and regulatory complexity. This chapter explores the historical background, key legislation, contract types, and the procedures required for migration to ACL, highlighting the market's main challenges and opportunities. It concludes that success in ACL depends on efficient management, risk mitigation strategies, and adaptation to technological and regulatory changes.

Keywords: Free Energy Market. Contracts. Competitiveness. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO AO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

O Mercado Livre de Energia, oficialmente conhecido como Ambiente de Contratação Livre (ACL), é um dos pilares da liberalização do setor elétrico, permitindo a consumidores e geradores a liberdade de negociar contratos de fornecimento de energia de forma direta. Ao contrário do Ambiente de Contratação Regulada (ACR), onde as tarifas são determinadas pela ANEEL e o fornecimento é feito exclusivamente por distribuidoras, no ACL os preços, prazos e demais condições contratuais são definidas livremente pelas partes envolvidas.

O ACL promove a competição entre geradores e comercializadores, incentivando a eficiência no setor elétrico. A liberdade de escolha permite que os consumidores busquem condições que melhor atendam às suas necessidades de consumo e perfil de risco, levando em consideração fatores como previsibilidade de preços e garantias de fornecimento.

1.1. IMPORTÂNCIA DO MERCADO LIVRE

O Mercado Livre de Energia tem uma importância crescente no cenário energético brasileiro, não apenas pela redução de custos para grandes consumidores, mas também pela contribuição para a modernização do setor elétrico. A possibilidade de negociar diretamente com geradores ou comercializadores oferece aos consumidores maior controle sobre os custos de energia, permitindo ajustes conforme as flutuações do mercado e a demanda específica de cada operação.

Um dos principais benefícios do ACL é a possibilidade de adoção de estratégias de compra mais alinhadas às necessidades das empresas, como a contratação de energia a preços fixos para períodos de maior consumo ou a opção por fontes renováveis, que podem reduzir a pegada de carbono das operações. Esse ambiente favorece a inovação e a adoção de tecnologias mais eficientes, como sistemas de gestão de energia e geração distribuída.

Outro aspecto fundamental é o incentivo ao uso de fontes renováveis. No ACL, há uma demanda crescente por energia limpa, impulsionada tanto por regulamentações ambientais quanto por compromissos corporativos de sustentabilidade. Isso gera um círculo virtuoso, onde a demanda por energia renovável atrai investimentos em novos projetos de geração, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira.

2. HISTÓRICO DO MERCADO LIVRE DE ENERGIA NO BRASIL

A abertura do setor elétrico no Brasil teve início nos anos 1990, motivada pela necessidade de modernização e pela busca por maior eficiência e competitividade. O

monopólio estatal sobre a geração e distribuição de energia, que prevaleceu durante a maior parte do século XX, enfrentava desafios como o aumento da demanda, a necessidade de investimentos em infraestrutura e a crise financeira das empresas estatais.

2.1. A REFORMA DE 1995: LEI Nº 9.074 E A CRIAÇÃO DO MERCADO ATACADISTA

A Lei nº 9.074/1995 foi um divisor de águas para o setor elétrico brasileiro, introduzindo a possibilidade de concorrência em um mercado até então monopolizado. Antes da lei, o setor era caracterizado pela verticalização das operações, com empresas estatais responsáveis pela geração, transmissão e distribuição de energia. A crise financeira dessas empresas, combinada com o aumento da demanda por eletricidade, evidenciou a necessidade de reformas profundas.

A introdução dos Produtores Independentes de Energia (PIEs) permitiu a entrada de novos geradores no mercado, promovendo a competição e a eficiência na geração de energia. A criação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) foi outro marco importante, estabelecendo um ambiente onde grandes consumidores e geradores poderiam negociar diretamente, fora do ambiente regulado. Inicialmente, apenas grandes consumidores, com demanda contratada acima de 10 MW e tensão mínima de 69 kV, podiam migrar para o mercado livre.

A lei também foi pioneira ao garantir o direito de livre acesso às redes de transmissão e distribuição, essencial para a viabilização do mercado livre. Isso permitiu que os consumidores livres escolhessem seus fornecedores independentemente da localização geográfica, aumentando a competitividade no setor.

Essa reforma foi acompanhada por uma série de medidas regulatórias que visavam criar as condições necessárias para a operação de um mercado livre, incluindo a separação das atividades de geração, transmissão e distribuição, e a introdução de mecanismos de competição entre os agentes.

2.2. EVOLUÇÃO DO MERCADO LIVRE: 1995 ATÉ O PRESENTE

A partir de 1995, o mercado livre brasileiro passou por um processo contínuo de evolução e expansão. A criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) em 2004, substituindo o MAE, foi um passo fundamental na consolidação do ACL. A CCEE trouxe

maior transparência e segurança às transações de energia, estabelecendo regras claras para a comercialização no mercado livre e no mercado regulado.

As mudanças regulatórias ao longo dos anos permitiram a redução gradativa dos requisitos mínimos de demanda para a migração ao mercado livre, culminando na inclusão de consumidores com demanda superior a 500 kW e, mais recentemente, na ampliação para todos os consumidores do Grupo A.

Esse processo de expansão foi acompanhado por um amadurecimento do mercado, com a entrada de novos agentes, como comercializadores de energia e varejistas, que oferecem produtos e serviços personalizados para atender às necessidades específicas de diferentes perfis de consumidores. Além disso, o mercado passou a contar com mecanismos sofisticados de gestão de risco, como contratos futuros e opções de energia, que permitem maior previsibilidade e proteção contra a volatilidade dos preços.

2.3. PROJETO DE LEI 414/2021: ABERTURA PARA O GRUPO B

O Projeto de Lei 414/2021, atualmente em tramitação no Congresso Nacional, representa a próxima grande etapa na liberalização do setor elétrico brasileiro. Esse projeto visa permitir que todos os consumidores, incluindo aqueles conectados em baixa tensão (Grupo B), possam optar pela migração para o mercado livre. A aprovação desse projeto significará uma democratização do acesso ao ACL, ampliando significativamente o número de consumidores que podem escolher seu fornecedor de energia.

A abertura do mercado para consumidores de baixa tensão é uma mudança estrutural que trará desafios regulatórios e operacionais, mas também enormes oportunidades. A entrada de milhões de novos consumidores no ACL exigirá inovações em modelos de negócio, particularmente no segmento de varejo de energia, que terá que desenvolver soluções escaláveis e eficientes para atender a uma base de clientes mais ampla e diversificada.

Além disso, a integração desses novos consumidores ao mercado livre poderá acelerar a transição energética, incentivando a adoção de fontes renováveis e a implementação de tecnologias de eficiência energética, que são mais acessíveis em um ambiente de contratação livre. Essa abertura também pode estimular a concorrência entre comercializadores, resultando em melhores condições contratuais e maior variedade de opções para os consumidores.

3. LEGISLAÇÃO E REGULAÇÃO DO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

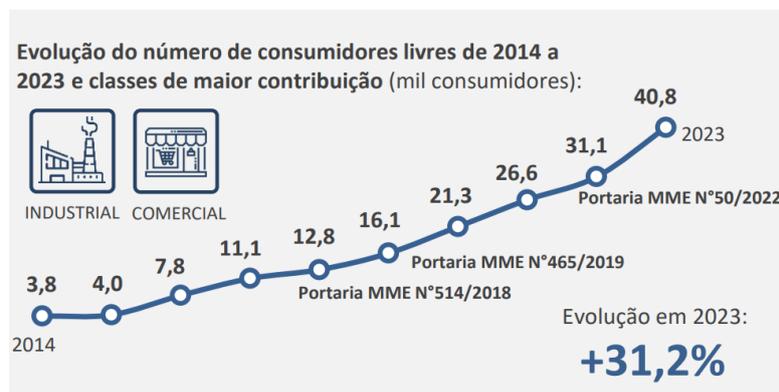
A regulação do Mercado Livre de Energia no Brasil é complexa e evoluiu ao longo dos anos para acompanhar o crescimento do mercado. A Lei nº 9.074/1995 estabeleceu as bases do mercado livre, criando as figuras do Produtor Independente de Energia e do Consumidor Livre, além de garantir o acesso às redes de transmissão e distribuição.

A Lei nº 9.427/1996 criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regula e fiscaliza o setor, definindo tarifas de uso das redes e garantindo a competitividade.

Em 2004, a Lei nº 10.848 reestruturou o setor, criando a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e separando os ambientes de contratação regulada e livre. A Portaria MME nº 465/2019 permitiu que consumidores com demanda igual ou superior a 500 kW migrassem para o ACL a partir de 2023, democratizando o acesso ao mercado. Já a Portaria MME nº 50/2022 autorizou, a partir de janeiro de 2024, que todos os consumidores do grupo A pudessem aderir ao Mercado Livre de Energia.

Na Figura 1, é possível visualizar a evolução de consumidores livres entre 2014 e 2023. É notório o aumento expressivo de consumidores após a promulgação das portarias 465/2019 e 50/2022.

Figura 1. Evolução do número de consumidores livres entre 2014 e 2023.



Fonte: EPE (2024).

3.1. REGULAÇÃO DO MERCADO LIVRE: A ATUAÇÃO DA ANEEL E DA CCEE

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) desempenham papéis complementares na regulação e supervisão do Mercado Livre de Energia. A ANEEL é responsável por criar e aplicar as normas que garantem o funcionamento adequado do mercado, assegurando que todos os agentes atuem de acordo

com as regras estabelecidas. Isso inclui a fiscalização dos contratos de energia, a supervisão das práticas comerciais e a resolução de conflitos entre os agentes.

A CCEE, por sua vez, é a entidade responsável pela operação do mercado. Ela administra os processos de contabilização e liquidação financeira das operações realizadas no ACL, garantindo a transparência e a confiabilidade das transações. Além disso, a CCEE é responsável pela manutenção dos sistemas de informação que suportam o mercado, incluindo o Sistema de Gestão de Contratos (SGC) e o Sistema de Coleta de Dados Operacionais (SCDE).

A atuação da ANEEL e da CCEE é essencial para a estabilidade do ACL, pois elas garantem que as regras do mercado sejam respeitadas e que as transações sejam realizadas de maneira justa e transparente. A cooperação entre essas duas entidades também é fundamental para o desenvolvimento de novas regulamentações que acompanhem a evolução do mercado, como as mudanças decorrentes da abertura do ACL para consumidores de baixa tensão.

3.2. DESAFIOS REGULATÓRIOS

O avanço do Mercado Livre de Energia no Brasil traz consigo uma série de desafios regulatórios que precisam ser enfrentados para garantir a sustentabilidade e a competitividade do mercado. Um dos principais desafios é a adaptação da regulação para permitir a participação de um número crescente de consumidores, especialmente com a possível inclusão dos consumidores de baixa tensão (Grupo B) no ACL.

Outro desafio significativo é a necessidade de desenvolver mecanismos que garantam a segurança do fornecimento de energia em um mercado cada vez mais dinâmico e diversificado. Isso inclui a criação de regras claras para a gestão de riscos, como a volatilidade dos preços e a garantia de lastro energético, especialmente em períodos de escassez hídrica ou de alta demanda.

A regulação também precisa acompanhar as inovações tecnológicas que estão transformando o setor elétrico, como a geração distribuída, o armazenamento de energia e a digitalização das redes. A criação de uma regulação que permita a integração dessas novas tecnologias ao ACL, sem comprometer a estabilidade do sistema, é um dos grandes desafios para os próximos anos.

4. FUNCIONAMENTO DO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

O Mercado Livre de Energia se diferencia do mercado cativo em vários aspectos cruciais, oferecendo maior flexibilidade e oportunidades para os consumidores, mas também exigindo uma gestão mais ativa e informada dos contratos e riscos associados. Compreender os mecanismos de contratação, os tipos de contratos disponíveis e a dinâmica do mercado de curto prazo é essencial para aproveitar os benefícios desse ambiente.

4.1. COMPONENTES DA CONTA DE ENERGIA NO MERCADO LIVRE

No Mercado Livre de Energia, a conta de energia é composta por diferentes componentes, o que permite ao consumidor uma visão mais clara e detalhada dos custos envolvidos. Essa segmentação oferece maior transparência e controle, possibilitando estratégias mais precisas de gestão de custos. Um dos componentes principais é a geração de energia, que representa o custo da eletricidade adquirida pelo consumidor. Nesse ambiente, esse componente é negociado diretamente entre o gerador e o consumidor, o que pode resultar em condições mais favoráveis, especialmente para contratos de longo prazo. A competitividade entre geradores e a possibilidade de escolher a fonte de energia, como hídrica, térmica, eólica ou solar, permite ao consumidor alinhar suas escolhas estratégicas a fatores como sustentabilidade, previsibilidade de preços e perfil de consumo.

Os custos de transmissão e distribuição, por sua vez, permanecem regulados pela ANEEL, independentemente de o consumidor estar no mercado cativo ou livre. Esses custos refletem o uso das redes que transportam a energia das usinas até o ponto de consumo. Mesmo no Mercado Livre, o acesso a essas redes é um fator crucial, e os consumidores devem estar atentos às tarifas de uso do sistema de transmissão (TUST) e do sistema de distribuição (TUSD), que são periodicamente revisadas pela ANEEL e podem impactar a competitividade da energia contratada.

Além disso, os encargos setoriais e tributos constituem outra parte importante da conta de energia, incluindo contribuições obrigatórias destinadas a políticas públicas, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e o Encargo de Serviço do Sistema (ESS). Tributos como ICMS, PIS e COFINS incidem sobre o valor total da fatura. No Mercado Livre, a gestão desses

encargos e tributos pode ser mais complexa, exigindo conhecimento especializado para maximizar os benefícios fiscais e evitar custos adicionais.

4.2. TIPOS DE CONTRATOS E ESTRATÉGIAS DE CONTRATAÇÃO

A negociação de contratos no Mercado Livre de Energia oferece diversas estratégias que podem ser adaptadas aos objetivos de cada consumidor, dependendo do perfil de consumo, da aversão ao risco e das expectativas em relação ao mercado. Uma das opções mais comuns são os contratos de longo prazo, que garantem previsibilidade de custos e segurança no fornecimento de energia. Com duração superior a cinco anos, esses contratos protegem contra a volatilidade dos preços no mercado de curto prazo, sendo especialmente vantajosos para indústrias com alto consumo de energia, onde os custos operacionais dependem fortemente da estabilidade dos preços.

Por outro lado, os contratos de curto prazo oferecem mais flexibilidade, permitindo que o consumidor aproveite períodos de preços mais baixos. No entanto, essa opção envolve maior incerteza, pois o consumidor fica mais exposto às flutuações do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Para empresas com capacidade de gestão ativa e que podem ajustar seu consumo conforme as condições do mercado, essa estratégia pode resultar em redução de custos.

Além disso, consumidores podem optar pela exposição parcial ou total ao Mercado de Curto Prazo (MCP), onde as diferenças entre o volume de energia contratado e o consumido são liquidadas. Essa exposição pode ser usada para ajustar o portfólio de contratação, aproveitando preços mais baixos, mas também implicando riscos relacionados à volatilidade do PLD.

Alguns consumidores preferem contratos indexados ao PLD ou a outros índices, como o IGP-M, como uma forma de hedge contra variações de preços. Essa estratégia pode ser combinada com contratos de longo prazo para balancear flexibilidade e estabilidade. O uso de instrumentos de hedge, como derivativos de energia, é uma prática comum entre grandes consumidores para se proteger contra oscilações indesejadas nos preços.

4.3. PREÇO DE LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS (PLD)

O Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) é um dos elementos centrais do Mercado Livre de Energia, servindo como referência para a liquidação das diferenças entre a energia

contratada e a consumida. Calculado diariamente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o PLD é determinado com base em um modelo matemático que considera a oferta de energia das usinas, a demanda projetada para cada submercado e fatores hidrológicos e operacionais. Esse cálculo reflete o custo marginal necessário para equilibrar a oferta e a demanda de energia, ajustado para eventuais restrições de transmissão, influenciando as transações e liquidações financeiras no mercado de curto prazo.

A volatilidade do PLD pode representar tanto uma oportunidade quanto um risco para os consumidores. Em períodos de escassez hídrica ou alta demanda, o PLD tende a aumentar, elevando os custos de energia para quem está exposto ao mercado de curto prazo. Por outro lado, em condições favoráveis, o PLD pode cair, permitindo a compra de energia a preços significativamente inferiores aos contratados no mercado regulado. A gestão eficaz dessa volatilidade exige o uso de modelos de previsão e ferramentas de gestão de risco, muitas vezes auxiliada por consultorias especializadas.

4.4. RISCOS E BENEFÍCIOS DO MERCADO LIVRE

Participar do Mercado Livre de Energia oferece uma série de benefícios, mas também traz desafios que precisam ser gerenciados com cuidado. Os principais benefícios incluem a flexibilidade para negociar condições de fornecimento que melhor atendam às necessidades da empresa, a possibilidade de redução de custos, além do alinhamento com políticas corporativas de sustentabilidade ao optar por energia de fontes renováveis. O ambiente competitivo do ACL também incentiva a eficiência energética e a inovação, permitindo às empresas usufruir das melhores práticas e tecnologias disponíveis no mercado.

No entanto, existem riscos, como a exposição à volatilidade dos preços no mercado de curto prazo, a necessidade de uma gestão ativa e especializada dos contratos, e os desafios relacionados à previsão de consumo e demanda. Além disso, a complexidade regulatória e a necessidade de cumprir rigorosamente as obrigações contratuais e regulatórias exigem um alto nível de conhecimento técnico e jurídico. Para mitigar esses riscos, muitas empresas optam por contratar consultorias especializadas ou formar equipes internas dedicadas à gestão de energia.

4.5. PAPEL DOS AGENTES: GERADORES, COMERCIALIZADORES, VAREJISTAS E CONSUMIDORES

No Ambiente de Contratação Livre (ACL), a interação entre os diferentes agentes é fundamental para o funcionamento eficiente do mercado. Os principais agentes nesse ambiente são os geradores, comercializadores, consumidores e, mais recentemente, os varejistas de energia. Os geradores, responsáveis pela produção de energia, desempenham um papel crucial na oferta de eletricidade no ACL. Eles podem negociar diretamente com os consumidores ou por meio dos comercializadores, oferecendo uma variedade de contratos que atendem a diferentes perfis de consumo. A diversidade das fontes de geração disponíveis no Brasil, como hidrelétrica, eólica, solar e térmica, permite aos consumidores fazer escolhas estratégicas alinhadas aos seus objetivos de custo e sustentabilidade.

Os comercializadores atuam como intermediários entre os geradores e os consumidores, facilitando a compra e venda de energia no ACL. Eles trazem expertise na gestão de portfólios de energia, na negociação de contratos e na gestão de riscos, proporcionando maior segurança e flexibilidade aos consumidores. Além disso, os comercializadores desenvolvem produtos customizados que permitem otimizar a estratégia de aquisição de energia de cada cliente.

Os varejistas de energia, uma figura mais recente no mercado brasileiro, agregam a demanda de pequenos consumidores para negociar melhores condições contratuais. Eles oferecem uma solução para consumidores que desejam acessar o Mercado Livre, mas que não possuem volume suficiente para negociar diretamente com geradores ou comercializadores. O crescimento desse segmento está sendo impulsionado pela possível abertura do mercado para consumidores de baixa tensão, ampliando significativamente o número de participantes no ACL.

No Mercado Livre, os consumidores são classificados em dois grupos principais: consumidores livres e consumidores especiais. Os consumidores livres têm maior flexibilidade e podem negociar livremente suas condições contratuais, enquanto os consumidores especiais têm acesso ao mercado desde que adquiram energia proveniente de fontes incentivadas, como eólica, solar e biomassa. O perfil e a estratégia de contratação de cada consumidor influenciam diretamente os benefícios que podem ser alcançados no ACL.

5. COMO MIGRAR PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA?

A migração para o Mercado Livre de Energia é um processo estratégico e técnico que requer planejamento detalhado e compreensão dos aspectos regulatórios, contratuais e operacionais envolvidos. Neste capítulo, vamos explorar cada etapa desse processo, desde a avaliação inicial de viabilidade até a gestão contínua dos contratos no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

5.1. AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E PLANEJAMENTO

O primeiro passo para a migração ao Ambiente de Contratação Livre (ACL) é realizar um estudo de viabilidade econômica, cujo objetivo é avaliar se a transição é vantajosa para a empresa. Esse estudo deve considerar diversos fatores. Primeiramente, é necessário analisar o perfil de consumo de energia, incluindo volume, horários de pico, sazonalidade e a sensibilidade da operação à interrupção no fornecimento. Empresas com altos níveis de consumo e maior previsibilidade tendem a se beneficiar mais da migração.

Em seguida, é importante revisar as condições contratuais vigentes com a distribuidora local, identificando prazos, penalidades por rescisão antecipada e qualquer obrigação específica que possa impactar a transição.

Outro aspecto crucial é avaliar o cenário de mercado, observando o Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), as projeções de preços futuros, a disponibilidade de fontes de energia e a volatilidade do mercado. A análise de tendências macroeconômicas, políticas e regulatórias também é fundamental para antecipar possíveis flutuações nos custos energéticos.

Além disso, a análise de riscos deve identificar os principais riscos associados à migração, como a exposição ao mercado de curto prazo e a volatilidade dos preços, elaborando estratégias de mitigação, como a diversificação de fornecedores e a contratação de consultoria especializada em gestão de energia.

Com base nesses dados, a empresa pode definir uma estratégia de contratação no ACL que esteja alinhada com seus objetivos financeiros e operacionais, considerando tanto os potenciais benefícios quanto os riscos envolvidos.

5.2. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E CONTRATUAIS

Uma vez tomada a decisão de migrar para o Mercado Livre de Energia, o próximo passo envolve a implementação de uma série de procedimentos técnicos e contratuais. O

consumidor deve, primeiramente, adequar seu sistema de medição de energia conforme as exigências da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Isso inclui a instalação de medidores eletrônicos capazes de registrar o consumo em intervalos curtos, facilitando o monitoramento preciso do uso de energia e a contabilização das transações no mercado livre.

Além disso, é necessário notificar a distribuidora local sobre a intenção de migrar para o ACL, cumprindo qualquer exigência contratual, como a rescisão antecipada ou a renegociação de termos para a continuidade dos serviços de transmissão e distribuição. No ACL, o consumidor também deve negociar novos contratos de fornecimento diretamente com geradores ou comercializadores, especificando a quantidade de energia, o período de fornecimento, o preço e as condições de pagamento, além de cláusulas como penalidades por inadimplência ou interrupção do fornecimento.

Outro passo fundamental é a adesão à CCEE, entidade responsável pela administração do mercado de energia, contabilização e liquidação das transações. A adesão à CCEE é obrigatória para todos os agentes do ACL e envolve o cumprimento de requisitos documentais e operacionais.

Por fim, a modelagem contratual deve ser feita com atenção aos detalhes, considerando a flexibilidade para ajustes de volume, a possibilidade de renegociação em caso de mudanças significativas no mercado e a definição clara dos direitos e obrigações das partes envolvidas.

5.3. GESTÃO DE CONTRATOS E RELAÇÃO COM A DISTRIBUIDORA

Após a migração para o ACL, a gestão contínua dos contratos de energia torna-se um elemento central da operação. O consumidor deve desenvolver uma estratégia robusta para monitorar e gerenciar seus contratos de maneira eficiente. Isso inclui o monitoramento constante do consumo de energia, garantindo que ele esteja de acordo com os volumes contratados, já que desvios significativos podem resultar em penalidades ou na necessidade de adquirir energia no mercado de curto prazo, a preços possivelmente mais altos.

A gestão de risco também é fundamental, pois as empresas no ACL estão expostas à volatilidade dos preços de energia, especialmente no mercado de curto prazo. Ferramentas como contratos futuros e opções de energia podem ser utilizadas para mitigar esses riscos.

Além disso, manter uma relação próxima com consultores ou comercializadores é aconselhável para obter insights e estratégias que otimizem a gestão dos contratos. Embora

operem no mercado livre, os consumidores continuam dependentes da distribuidora local para os serviços de transmissão e distribuição. Por isso, é importante manter uma comunicação clara e eficiente com a distribuidora, resolvendo questões relacionadas à qualidade do fornecimento, manutenção das redes e eventuais disputas sobre encargos e tarifas.

A revisão periódica dos contratos também é essencial para garantir que estejam alinhados com as condições de mercado e as necessidades da empresa, o que pode incluir renegociações para ajustar volumes, prazos ou condições financeiras.

A migração para o Mercado Livre de Energia é uma decisão estratégica que pode proporcionar vantagens significativas, como a redução de custos e maior controle sobre as operações energéticas. No entanto, essa transição exige um planejamento cuidadoso e uma gestão proativa para maximizar os benefícios e mitigar os riscos associados. Empresas que investem na análise detalhada e na adaptação de suas operações para o ACL estão melhor posicionadas para aproveitar as oportunidades oferecidas por esse ambiente dinâmico e competitivo.

6. DESAFIOS E OPORTUNIDADES NO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

O Mercado Livre de Energia apresenta um cenário repleto de oportunidades para consumidores e fornecedores, mas também impõe desafios consideráveis que exigem preparo e estratégias bem definidas. Nesta seção, vamos analisar os principais desafios enfrentados pelos agentes do mercado e as oportunidades que podem ser exploradas, especialmente em um contexto de transição energética e inovação tecnológica.

6.1. DESAFIOS NO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

Um dos principais desafios enfrentados pelos consumidores no Ambiente de Contratação Livre (ACL) é a volatilidade dos preços de energia. Diferente do Ambiente de Contratação Regulada, onde os preços são estabelecidos pela ANEEL, no ACL eles são determinados por forças de mercado, o que pode resultar em flutuações significativas, influenciadas por eventos climáticos, mudanças na demanda e variação nos preços de combustíveis. Essa imprevisibilidade requer uma gestão de risco eficaz e estratégias de compra planejadas.

A complexidade regulatória é outro desafio, pois o ambiente do setor elétrico está em constante evolução. As empresas no ACL precisam se manter atualizadas sobre novas resoluções e mudanças na legislação, o que exige recursos dedicados e conhecimento especializado para garantir a conformidade e evitar penalidades. Além disso, a capacidade de negociação dos consumidores é essencial para obter condições favoráveis, algo mais desafiador para pequenos consumidores, que podem ter menor poder de barganha em comparação aos grandes consumidores.

Os riscos de crédito e contratuais também são consideráveis, já que a inadimplência de um agente pode gerar custos adicionais ou interrupções no fornecimento. A complexidade e falta de padronização nos contratos podem resultar em disputas sobre cláusulas e penalidades. Por fim, a transição para o ACL pode exigir investimentos em tecnologia e infraestrutura, como sistemas de medição avançados e plataformas de gestão de energia, sendo a falta de integração entre sistemas um obstáculo à eficiência.

6.2. OPORTUNIDADES NO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

Em contrapartida, o ACL oferece diversas oportunidades, sendo a principal delas a redução de custos com energia. A negociação direta com fornecedores possibilita a aquisição de energia a preços mais competitivos do que no mercado regulado, além da flexibilidade para ajustar contratos conforme as condições de mercado. Essa flexibilidade permite que as empresas adaptem suas estratégias de compra de energia de acordo com suas previsões de demanda e gestão financeira.

Outra oportunidade importante é a sustentabilidade. O ACL permite que empresas contratem diretamente geradores de energia renovável, reduzindo suas pegadas de carbono e atendendo às expectativas de consumidores e investidores por práticas mais responsáveis. A energia renovável também pode ser integrada em estratégias de responsabilidade social corporativa e marketing verde, agregando valor à marca.

Além disso, o ACL é um ambiente favorável à inovação e adoção de tecnologias avançadas de gestão de energia. A digitalização e o uso de sistemas de análise de dados permitem monitorar o consumo de energia em tempo real, identificar oportunidades de eficiência e tomar decisões mais informadas. Tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e sistemas de gestão de energia (SGE) podem gerar economias significativas e tornar as operações mais resilientes. O dinamismo do mercado livre também cria espaço para o

desenvolvimento de novos modelos de negócio, como soluções de hedge contra a volatilidade dos preços e plataformas de gestão de contratos e consumo, atendendo às necessidades específicas dos consumidores.

7. CONCLUSÕES

O Mercado Livre de Energia é um ambiente desafiador, mas repleto de oportunidades para empresas que estão preparadas para navegar suas complexidades. A chave para o sucesso no ACL reside em uma gestão proativa, conhecimento profundo do mercado, e a capacidade de inovar e adaptar-se às mudanças. As empresas que conseguem alinhar suas estratégias energéticas com suas metas corporativas de longo prazo estarão melhor posicionadas para tirar proveito dos benefícios do mercado livre e mitigar os riscos envolvidos.

REFERÊNCIAS

ABRACEEL - Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia. Cartilha do consumidor livre de energia. Brasília, 2020. Disponível em: <https://abraceel.com.br/biblioteca/cartilhas/2020/10/cartilha-do-consumidor-livre-de-energia/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Dispõe sobre a política de energia elétrica e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 10 jul. 1995. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRASIL. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a reestruturação do setor elétrico e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 mar. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.848.htm. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRASIL. Portaria MME nº 465, de 13 de novembro de 2019. Critérios para a expansão do mercado livre. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 nov. 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-233554889>. Acesso em: 26 ago. 2024.

BRASIL. Portaria MME nº 50, de 18 de janeiro de 2022. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 jan. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/portarias/2022/portaria-normativa-n-50-gm-mme-2022.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2024: ano base 2023. Brasília: EPE, 2024.

CAPÍTULO XXI

EXPRESSÃO DAS INCERTEZAS DE MEDIÇÃO ASSOCIADAS À DOSIMETRIA E ÀS CALIBRAÇÕES DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO PARA RADIAÇÕES IONIZANTES USADOS EM RADIOPROTEÇÃO NO LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO GAMA (LCG) DO EXÉRCITO BRASILEIRO

EXPRESSION OF MEASUREMENT UNCERTAINTIES ASSOCIATED WITH DOSIMETRY AND CALIBRATION OF MEASUREMENT INSTRUMENTS FOR IONIZING RADIATION USED IN RADIATION PROTECTION IN THE GAMMA CALIBRATION LABORATORY (LCG) OF THE BRAZILIAN ARMY

DOI: 10.51859/amplla.pet4499-21

Thiago de Medeiros Silveira Silva¹

Fábio Gomes Vieira²

Rodrigo Carneiro Curzio³

Claudio José Ferro de Sá Ferreira Vasconcelos⁴

Gabriel Flintz Fraga Marques⁴

Alexandre Goes de Oliveira Cordeiro⁵

Paulo Ricardo Teles de Vilela⁶

Mario Cesar Viegas Balthar⁷

Aneuri Souza Amorim⁸

¹ Mestre em Engenharia Nuclear pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Pesquisador do Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN). Chefe do Laboratório de Calibração Gama (LCG).

² Graduado em Engenharia Química pelo IME. Assessor Técnico da Direção e Pesquisador do IDQBRN.

³ Doutorando em Engenharia de Defesa e Mestre em Engenharia Nuclear pelo IME. Pesquisador do IDQBRN.

⁴ Graduado em Engenharia Química pelo IME. Pesquisador do IDQBRN.

⁵ Graduado em Engenharia Nuclear pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pesquisador do IDQBRN.

⁶ Técnico em Dosimetria e Proteção Radiológica. Assistente em Ciência e Tecnologia do IDQBRN.

⁷ Doutor em Biologia (Biotecnologias Nucleares) pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Pesquisador Colaborador do IDQBRN. Responsável Técnico Substituto do LCG.

⁸ Doutora em Biologia (Biotecnologias Nucleares) pela UERJ. Pesquisadora Titular do IDQBRN. Responsável Técnica pelo LCG. Docente Colaboradora da Pós-Graduação em Engenharia Nuclear do IME.

RESUMO

O Laboratório de Calibração Gama (LCG) tem como objetivos o refinamento de sua qualidade metrológica e o contínuo aprimoramento de suas atividades a fim de prover ao Exército Brasileiro instrumentos de medição para radiação gama que forneçam leituras rastreáveis, exatas e precisas para uso em radioproteção. Como requisito para comprovação da competência técnica, é previsto que os laboratórios devam identificar as

contribuições para sua incerteza de medição, fazendo uso de métodos de análise apropriados. Nesse sentido, foram abordados aspectos relevantes, como o tratamento de incertezas dos fatores que influenciam na dosimetria na grandeza kerma no ar e na calibração dos seguintes detectores: câmaras de ionização, para a qual é calculado um coeficiente de calibração de kerma no ar, e monitores de área em equivalente de dose ambiente. Para atingir o objetivo proposto neste estudo, aplicou-se a metodologia do Guia para a expressão de incerteza de medição (GUM) nas

grandezas retromencionadas e, posteriormente, realizaram-se avaliações à luz das normas de proteção radiológica pertinentes. Dessa forma, os resultados evidenciaram que as incertezas associadas aos processos de medições do LCG atendem às recomendações normativas de radioproteção e são condizentes com seu grau hierárquico metrológico.

Palavras-chave: Incerteza de Medição. Dosimetria. Calibração. Radioproteção. Metrologia.

ABSTRACT

The Gamma Calibration Laboratory – in Portuguese: *Laboratório de Calibração Gama* (LCG) – aims to refine its metrological quality and continually improve its activities to provide the Brazilian Army with gamma radiation measurement instruments that deliver traceable, exact exact and accurate readings for use in radioprotection. As a requirement for demonstrating technical competence, laboratories

are expected to identify the contributions to their measurement uncertainty using appropriate analytical methods. In this context, relevant aspects were addressed, such as the treatment of uncertainties associated with factors influencing dosimetry in air kerma and the calibration of the following detectors: ionization chambers, for which an air kerma calibration coefficient is calculated, and area monitors in terms of ambient dose equivalent. To achieve the objective of this study, the methodology from the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) was applied to the aforementioned quantities, and subsequent evaluations were conducted in light of the relevant radiological protection standards. Thus, the results demonstrated that the uncertainties associated with the LCG's measurement processes comply with the normative radioprotection recommendations and are consistent with its metrological hierarchical level.

Keywords: Measurement Uncertainty. Dosimetry. Calibration. Radiological Protection. Metrology.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (IDQBRN), por meio do seu Laboratório de Calibração Gama (LCG), realiza os serviços de calibrações de instrumentos de medição para radiações ionizantes usados em radioproteção do Exército Brasileiro [1]. Como parte integrante do procedimento de calibração, deve-se determinar a incerteza de medição, que é uma estimativa que quantifica a confiabilidade dos resultados [2]. Trata-se de um parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos a esse mensurando. Portanto, torna-se necessário que haja uma metodologia implementada e validada para expressar a qualidade dos resultados das medições, isto é, para declarar e avaliar as incertezas [3].

Neste estudo, identificaram-se as fontes que contribuem para a incerteza de medição na dosimetria de Césio-137 do LCG e nas calibrações de câmaras de ionização e de dosímetros de leitura direta. Adicionalmente, foram realizados os cálculos para as estimativas de incerteza expandida da grandeza kerma no ar do sistema irradiador, do coeficiente de calibração de kerma no ar das câmaras calibradas e da grandeza equivalente de dose ambiente dos monitores de área calibrados, com base no Guia para a Expressão de Incerteza de Medição (GUM) [4] e nos procedimentos do Sistema da Qualidade implantado no LCG. Tais incertezas

foram analisadas de acordo com os limites estabelecidos pelas normas de proteção radiológica vigentes para avaliação dos dados de medição [5,6,7].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. EQUIPAMENTOS

Para realizar as análises experimentais foi utilizado o termobarohigrômetro (Fabricante: VAISALA, Modelo: PTU 303, Nº de série: P1440563) para verificação das condições ambientais (temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar). Os posicionamentos nas distâncias de irradiação foram medidos com a trena a laser (Fabricante: BOSCH, Modelo: GLM 120 C, Nº de série: 808043307) e os alinhamentos horizontais e verticais com a escala milimetrada projetada (Fabricante: Cidepe, Modelo: EQ041.01). Os materiais retromencionados foram calibrados em laboratórios acreditados (ou rastreados) pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) [8, 9, 10, 11, 12].

Para medição da taxa de kerma no ar, empregou-se o conjunto de medição composto pela câmara de ionização de 1 L (Fabricante: PTW, Modelo: TW32002, Nº de série: 528) e pelo eletrômetro (Fabricante: PTW UNIDOS, Modelo: Weblin, Nº de série: T10022-999452), previamente calibrado no Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI) [13]. O LNMRI é, desde 1976, um *Secondary Standard Dosimetry Laboratory* (SSDL) da *International Atomic Energy Agency* (IAEA) – responsável, por designação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) desde 2002, pela guarda e disseminação dos padrões nacionais das unidades do Sistema Internacional (SI) das grandezas para radiação ionizante. Os equipamentos calibrados pelo LNMRI têm a padronização terciária. Ou seja, este conjunto de medição do LCG é um padrão terciário.

Ademais fez-se uso dos equipamentos e da infraestrutura do próprio IDQBRN como atenuadores de chumbo (de diferentes espessuras), mesa e bancada de irradiação, sistema de posicionamento a laser, computadores, entre outros. Destaca-se a utilização do irradiador de Césio-137 do LCG (Fabricante: VF NUCLEAR, Modelo: IG-13) com atividade certificada inicialmente de 36,9 GBq em 22/01/2015 [14].

Para o estudo de calibração de instrumento foi empregada a câmara de ionização de transferência de 30 cm³ (Fabricante: PTW, Modelo: TN32005, Nº de série: 187) pertencente e calibrada pelo LNMRI. A calibração relatada neste artigo ocorreu durante a auditoria técnica do Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração (CASEC) [15]. Esta atividade foi uma

etapa fundamental para a certificação de que o LCG está apto para calibração de câmara de ionização além dos monitores de área, ambos para radioproteção.

Também foram estudados 25 dosímetros de leitura direta (Fabricante: Thermo Scientific, Modelo: RadEye PRD-ER, Nº de série: 30297, 30299, 30302, 30304, 30310, 30311, 30316, 30320, 30340, 30346, 30353, 30354, 30357, 30364, 30388, 31190, 31202, 31206, 31208, 31210, 31213, 31216, 31218 e 31221) da Companhia de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear (Cia DQBRN).

As calibrações estudadas nesta obra foram realizadas no último trimestre de 2023.

2.2. DOSIMETRIA

Para caracterização de feixe de radiação na grandeza dosimétrica kerma no ar, K_a a determinação é direta com uma câmara de ionização padrão apropriada, calibrada em termos de K_a [6]. O alinhamento da câmara com os eixos horizontais e verticais são realizados com o sistema de lasers do LCG na posição padronizada de 2.000 mm.

Posteriormente, as medições são realizadas nos posicionamentos de 500 mm a 3.000 mm (em intervalos de 250 mm) entre o centro do detector e a fonte radioativa de Césio-137. Também são empregados atenuadores de chumbo com 15 mm e com 32 mm no intuito de modificar as taxas de kerma no ar, ampliando a faixa de trabalho ao diminuir os limites inferiores da dosimetria. O tempo de irradiação adotado para a câmara de ionização é de 60,0 s, medido no cronômetro interno do eletrômetro. Para cada ponto de teste, são realizadas dez medições da carga elétrica coletada pela câmara [16].

Além disso, utilizam-se os fatores de correção das condições de ensaio para as condições de referência em relação a temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar e o fator de correção do decaimento radioativo da fonte, conforme orientações normativas [6].

Já para a grandeza operacional equivalente de dose ambiente, $H^*(10)$, a determinação é indireta aplicando o coeficiente de conversão, $h_K^*(10)$, aos valores medidos de K_a [6]. Para a qualidade da radiação utilizada, o valor deste coeficiente é recomendado como 1,21 Sv/Gy [7].

A partir do tratamento matemático de dados dessa dosimetria, realiza-se a caracterização do campo de radiação sendo possível a construção de curvas dosimétricas.

Essas curvas fornecerão as combinações necessárias de distância e atenuador a serem exercidas nas calibrações vindouras.

2.3. CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS DE IONIZAÇÃO

Utilizando o método de calibração por substituição [17], a câmara de ionização (utilizada como instrumento de trabalho) a ser calibrada é alinhada a 2.000 mm e posicionada a uma determinada distância de acordo com o procedimento interno ou conforme solicitado e acordado com o cliente. Em exercícios de comparação interlaboratorial e em ensaios de proficiência é definida no protocolo a distância da fonte radioativa ao ponto de referência da câmara (centro geométrico), visando garantir uma irradiação uniforme das câmaras de transferência. Assim, o ponto de teste deve coincidir com o ponto de referência da câmara. Na atividade detalhada neste artigo, foi solicitada a distância de 1.000 mm.

A orientação de referência ao feixe e, se for o caso, o uso de capa de *build-up* deve ser conforme declarado pelo fabricante [6]. A irradiação é realizada por feixe direto, ou seja, sem atenuador. O tempo de irradiação adotado para a câmara de ionização é de 60,0 s.

A indicação da câmara é considerada corrigida para a densidade do ar por meio de fatores de correção de temperatura, pressão e umidade [6,18]. São realizadas dez medições de corrente elétrica e, posteriormente, o valor médio é confrontado com o valor da taxa de K_a medido neste mesmo ponto de teste na dosimetria realizada com a câmara de ionização padrão rastreada ao LNMRI. Para cada câmara de ionização padrão calibrada é obtido um N_K específico para a qualidade de radiação utilizada [17].

Adverte-se que a calibração de câmara de ionização realizada no LCG é deliberada como “quaternária”, visto que utiliza um dispositivo padrão de calibração terciária (padrão de transferência) para a calibração de um outro equipamento. Após esta calibração, a terminologia para este equipamento seria “padrão quaternário”, visto que é este pertence a uma classe inferior dentro da hierarquia metrológica [13,19].

2.4. CALIBRAÇÃO DE DOSÍMETROS DE LEITURA DIRETA

Para calibração destes monitores de área foi utilizado o método de calibração por resposta em um campo de radiação conhecido [16] para quatro valores de referência de taxa de $H^*(10)$: 10 $\mu\text{Sv/h}$, 100 $\mu\text{Sv/h}$, 1.000 $\mu\text{Sv/h}$ e 10.000 $\mu\text{Sv/h}$. Para cada um desses valores é obtido nas curvas dosimétricas a combinação de distância de irradiação e atenuador, priorizando sempre o uso do feixe menos atenuado.

Após o alinhamento do dosímetro (ponto de referência do instrumento a 2.000 mm), posicionamento no ponto de teste (na distância de irradiação) e colocação do atenuador de chumbo (se necessária), foram realizadas dez leituras em cada ponto de teste. Para radioproteção, a faixa de aceitação é de $\pm 10\%$ sobre os valores de referência. Se a média das medições estiver dentro desse intervalo e a incerteza expandida associada à grandeza estiver em torno de 6% a 10%, o monitor é aprovado nesta faixa. O certificado de calibração só é emitido se, e somente se, o instrumento for aprovado em todas as suas escalas de medições [3,15].

2.5. EXPRESSÃO DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO

2.5.1. Conceitos básicos

O resultado de uma medição é apenas a melhor estimativa do valor verdadeiro (Y) que, na ausência de efeitos sistemáticos, é obtido pela média aritmética \bar{y} de N medições repetidas (y_i) do mesmo mensurando de acordo com a equação 1.

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (\text{Equação 1})$$

A apresentação do resultado de medição só é completa quando é acompanhada de uma quantidade que declara sua incerteza. A incerteza da medição não deve ser confundida com um erro. Trata-se de uma faixa de dispersão ou intervalo e não um valor pontual. É a dúvida remanescente associada ao resultado da medição, estima o grau de desconhecimento sobre aquilo que está sendo medido.

Na maioria dos casos o mensurando Y não é medido diretamente, mas é determinado, a partir de outras grandezas (X_1, X_2, \dots, X_m) por uma relação funcional (equação 2).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m) \quad (\text{Equação 2})$$

Por sua vez as grandezas X são estimadas a partir dos dados de entrada x ou de informações determinadas por diferentes meios. Assim, em uma medição há várias fontes de incerteza. Deve-se estimar essas e minimizar suas influências para que o resultado da medição esteja compreendido em um intervalo cada vez menor. Cada contribuição de incerteza deve ser tratada com a distribuição de probabilidade apropriada, seguindo o GUM [3,4,18].

2.5.2. Avaliações do tipo A da incerteza-padrão

Nesta categoria, a incerteza-padrão da grandeza u (X_i) é oriunda da incerteza-padrão das N medições $u(x_i)$, sendo obtida pelo quociente do desvio padrão da distribuição de

valores medidos $s(x_i)$ pelo divisor \sqrt{N} (equação 3). A incerteza de medição da repetibilidade é a principal contribuição do tipo A.

De acordo com a literatura, ao realizar mais de 30 medições, os resultados se aproximam da distribuição normal. Se um número menor de medições for utilizado, deve-se assumir para a amostra uma distribuição-t (ou distribuição de Student). O grau de liberdade (v) associado à incerteza de repetibilidade é $N - 1$.

$$u(X_i) = u(x_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{N}} \quad (\text{Equação 3})$$

2.5.3. Avaliações do tipo B da incerteza-padrão

Essas incertezas-padrões são expressas como um desvio-padrão, a partir de outros meios de obtenção, como dados fornecidos em certificados de calibração, dados coletados em livros, normas e manuais técnicos etc. Também devem ser fornecidas as distribuições de probabilidade e o nível da confiança.

2.5.4. Combinação de incertezas

De acordo com a Lei da Propagação das Incertezas, a incerteza de cada componente do ensaio ou calibração é propagada para a obtenção da incerteza final da medição por meio de uma expansão em Série de Taylor, truncada geralmente em primeira ordem. Supõe-se, para a aplicabilidade do Teorema Central do Limite, que a medição e a sua respectiva incerteza possuem uma função densidade de probabilidade normal, ou t-Student para pequenas amostras (≤ 30).

2.5.5. Incerteza-padrão combinada (u_c)

É necessário combinar todas as componentes de incerteza-padrão a fim de prover um único valor de incerteza. Quando não houver correlação entre as grandezas de entrada, a $u_c(y)$ é dada pela multiplicação da estimativa de cada incerteza-padrão $u(x_i)$ pelo seu respectivo coeficiente de sensibilidade (c_i), que descreve o quanto a estimativa de saída y é influenciada por variações da estimativa de entrada x_i (equação 4).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2} \quad (\text{Equação 4})$$

Se as grandezas apresentarem diferentes unidades, é conveniente trabalhar com incertezas-padrões relativas, $u_c(y)$ (%), expressa na equação 5, para simplificação dos cálculos.

$$u_c(y) (\%) = \frac{u_c(y)}{|\bar{y}|} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[c_i \frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2} \quad (\text{Equação 5})$$

2.5.6. Incerteza expandida (U)

Através do Teorema do Limite Central, assume-se que a distribuição de probabilidade da grandeza do mensurando será normal, para um grau de liberdade ν_{eff} – calculado pela equação 6:

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u^4(x_i)}{\nu_i}} \quad (\text{Equação 6})$$

sendo ν_i o grau de liberdade de x_i . Se ν_{eff} não é um inteiro, deve-se aproximá-lo ao próximo inteiro inferior. O valor do fator de abrangência (k) é escolhido com base no nível da confiança requerido e do ν_{eff} .

A incerteza expandida (ou incerteza global) é representada na equação 7:

$$U(y) = k u_c(y) \quad (\text{Equação 7})$$

onde k é definido para uma determinada probabilidade de abrangência e $u_c(y)$ é a incerteza-padrão combinada. É usual também declarar a incerteza expandida relativa, $U(y)$ (%), desde que $|\bar{y}| \neq 0$ (equação 8).

$$U(y)(\%) = \frac{U(y)}{|\bar{y}|} = k u_c(y)(\%) \quad (\text{Equação 8})$$

Nos casos em que ν_{eff} tende a infinito, deve-se consultar o valor de k na tabela de distribuição normal. A um nível de confiança de 95,45%, têm-se que o fator de abrangência é igual a 2,0. Já para $\nu_{eff} \leq 100$, deve-se utilizar a tabela da distribuição-t [18].

2.5.7. Declaração da incerteza

O resultado de uma medição é convenientemente expresso como na equação 9:

$$Y = \bar{y} \pm U(y) \quad (\text{Equação 9})$$

Nesta declaração, \bar{y} é a melhor estimativa do valor atribuível ao mensurando Y e no intervalo entre $\bar{y} - U(y)$ e $\bar{y} + U(y)$ se espera abranger uma extensa fração da distribuição

de valores que podem ser razoavelmente atribuídos a Y . Tal intervalo é também expresso como $\bar{y} - U(y) \leq Y \leq \bar{y} + U(y)$.

Quando se relata o resultado de uma medição, e quando a medida da incerteza é a incerteza expandida, convém fornecer:

- a descrição completa de como o mensurando Y é definido;
- a unidade de \bar{y} e de $U(y)$ ou a unidade de \bar{y} e a $U(y)(\%)$;
- o valor de k empregado; e
- o nível da confiança aproximado associado com o intervalo de Y e explicar como $U(y)$ foi obtida – referenciando, por exemplo, uma publicação na qual o método esteja descrito.

Em geral é suficiente fornecer u_c e U com até no máximo dois algarismos significativos; embora, em alguns casos, seja necessário reter algarismos adicionais para evitar erros de arredondamento nos cálculos subsequentes. Ao relatar os resultados finais, pode ser apropriado arredondar as incertezas para cima (a favor da segurança), em vez de arredondar até o algarismo mais próximo [18].

3. RESULTADOS

Com base no arcabouço teórico apresentado, as incertezas expandidas relativas, U (%), foram calculadas em relação ao valor médio medido pelo instrumento (\bar{y}) e estimadas com probabilidade de abrangência de 95,45% (equação 8). Em cada cálculo de $u_c(\%)$ (equação 5) utilizou-se o pior resultado (isto é, a maior contribuição) na avaliações do tipo A da incerteza-padrão dentre as obtidas nos testes realizados. Considerou-se que no LCG não há variáveis dependentes e correlacionadas ($c_i = 1,0; \forall i$).

São apresentados na tabela 1 os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada relativa e da incerteza expandida relativa na dosimetria em K_a utilizando a fonte de Césio-137 do LCG. A incerteza associada à repetibilidade (tipo A) é referente às dez leituras consecutivas das cargas elétricas medidas pelo eletrômetro. Também foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na dosimetria em K_a : as declaradas nos certificados de calibração do conjunto de medição, do termobarohigrômetro e da trena a laser; a uniformidade do campo; o possível erro nos alinhamentos horizontal e vertical; e o decaimento da fonte radioativa [17].

Na incerteza da uniformidade do campo, fez-se uso da maior diferença percentual encontrada entre as taxas de kerma no ar no centro do detector e a ± 100 mm nos eixos horizontal e vertical pertencentes ao plano perpendicular ao feixe de radiação. Já para o alinhamento (horizontal e vertical), considerou-se a menor divisão da escala em relação ao tamanho de campo uniforme a 2.000 mm [18]. Para essas componentes foi considerada distribuição de probabilidade em formato de U ($k = \sqrt{2}$) e triangular ($k = \sqrt{6}$), respectivamente. Não se considerou a contribuição de corrente de fuga, visto que esta tem sido desprezível após estabilização do conjunto de medição (≤ 15 fA) [6].

Tabela 1. Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza K_a na dosimetria

i	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	\bar{x}_i	Distribuição	Divisor	c_i	$u(x_i)(\%)$	ν_i
1	Repetibilidade das leituras (fC)	A	56,4	4235,4	t-Student	$\sqrt{10}$	1,0	0,004	9
2	Coefficiente de Calibração (%)	B	3,0	100,0	Normal	2,0	1,0	0,015	∞
3	Temperatura ambiente (°C)	B	0,2	20,0	Normal	2,0	1,0	0,005	∞
4	Pressão atmosférica (hPa)	B	0,2	1.013,3	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
5	Umidade relativa do ar (%)	B	1,3	65,0	Normal	2,0	1,0	0,010	∞
6	Distância de irradiação (mm)	B	0,3	2.000,0	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
7	Uniformidade do campo (%)	B	1,67	100,00	Forma de U	$\sqrt{2}$	1,0	0,012	∞
8	Alinhamento horizontal (mm)	B	1	652	Triangular	$\sqrt{6}$	1,0	0,001	∞
9	Alinhamento vertical (mm)	B	1	652	Triangular	$\sqrt{6}$	1,0	0,001	∞
10	Decaimento radioativo (a)	B	0,022	30,018	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
Incerteza-padrão combinada relativa								$u_c(y)(\%)$	ν_{eff}
								2,3	∞
Incerteza expandida relativa								$U(y)(\%)$	k
								4,5	2,0

Fonte: Autoria própria.

Como exposto na tabela 1, estimou-se para a dosimetria do sistema irradiador do LCG (em taxa de kerma no ar) que a $U(\%) = 4,5$ para $k = 2,0$.

Apresentam-se os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada relativa e da incerteza expandida relativa na calibração de câmaras de ionização na tabela 2. Conforme anteriormente citado, a incerteza associada à repetibilidade (tipo A) é referente às dez leituras consecutivas das cargas elétricas medidas pelo eletrômetro. Também foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B): a incerteza expandida já associada à

dosimetria em taxa de em K_a (tabela 1); as incertezas declaradas nos certificados de calibração do conjunto de medição, do termobarohigrômetro e da trena a laser, todas com distribuição normal ($k = 2,0$). Novamente não se considerou a contribuição de corrente de fuga, pois esta tem sido insignificante.

Tabela 2. Cálculo da incerteza expandida relativa associada ao N_K de câmaras de ionização

i	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	\bar{x}_i	Distribuição	Divisor	c_i	$u(x_i)(\%)$	ν_i
1	Repetibilidade das leituras (fC)	A	0,23	9,24	t-Student	$\sqrt{10}$	1,0	0,008	9
2	Dosimetria em K_a (%)	B	4,5	100,0	Normal	2,0	1,0	0,023	∞
3	Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	B	0,2	20,0	Normal	2,0	1,0	0,005	∞
4	Pressão atmosférica (hPa)	B	0,2	1.013,3	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
5	Umidade relativa do ar (%)	B	1,3	65,0	Normal	2,0	1,0	0,010	∞
6	Distância de irradiação (mm)	B	0,3	1.000,00	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
Incerteza-padrão combinada relativa								$u_c(y)(\%)$	ν_{eff}
								2,6	∞
Incerteza expandida relativa								$U(y)(\%)$	k
								5,3	2,0

Fonte: Autoria própria.

Como divulgado na tabela 2, para a calibração de câmaras de ionização no LCG a incerteza expandida do N_K é estimada em 5,3% para $k = 2,0$.

A tabela 3 exibe os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada e da incerteza expandida na dosimetria em kerma no ar utilizando a fonte de Césio-137 do LCG. Foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na dosimetria em $H^*(10)$: a incerteza expandida associada à dosimetria em taxa de kerma no ar (tabela 1), a incerteza estimada para o ajuste da curva dosimétrica (máximo de 1,0% para cada um dos dois parâmetros que compõem as equações) [17] e a incerteza do coeficiente de conversão para os campos de referência correspondente [7]; todas com distribuição normal ($k = 2,0$). Como exposto na tabela 3, obteve-se que $U(\%) = 6,4$ com $k = 2,0$ para a taxa de $H^*(10)$.

Tabela 3 – Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza $H^*(10)$ na dosimetria

i	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	\bar{x}_i	Distribuição	Divisor	c_i	$u(x_i)(\%)$	ν_i
1	Dosimetria em K_a (%)	B	4,5	100,0	Normal	2,0	1,0	0,023	∞
2	Coeficiente de conversão (%)	B	4,0	100,0	Normal	2,0	1,0	0,020	∞
3	Ajuste da curva dosimétrica (%)	B	2,0	100,0	Normal	2,0	1,0	0,010	∞

i	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	\bar{x}_i	Distribuição	Divisor	c_i	$u(x_i)(\%)$	ν_i
Incerteza-padrão combinada relativa								$u_c(\mathbf{y})(\%)$	ν_{eff}
Incerteza expandida relativa								$U(\mathbf{y})(\%)$	k
Incerteza-padrão combinada relativa								3,2	∞
Incerteza expandida relativa								6,4	2,0

Fonte: Autoria própria.

Na tabela 4, são divulgados os valores das fontes de incerteza, da incerteza-padrão combinada e da incerteza expandida na calibração de monitores de área em taxa de equivalente de dose ambiente selecionado aleatoriamente (Nº de série: 31216) área para o valor de referência de 10 $\mu\text{Sv/h}$. A incerteza associada à repetitividade (tipo A) é a incerteza obtida pelo cálculo do desvio padrão de dez leituras consecutivas deste dosímetros de leitura direta. Também foram consideradas como componentes de incerteza (tipo B) na calibração dos monitores em taxa de $H^*(10)$: a incerteza expandida associada à dosimetria em taxa de equivalente de dose ambiente (calculada na tabela 2) e a incerteza declarada no certificado de calibração da trena a laser, todas com distribuição normal ($k = 2,0$).

Tabela 4 – Cálculo da incerteza expandida relativa associada à grandeza $H^*(10)$ na calibração de monitores de área para o valor de referência de 10 $\mu\text{Sv/h}$

i	Fonte de Incerteza	Tipo	$U(x_i)$	\bar{x}_i	Distribuição	Divisor	c_i	$u(x_i)(\%)$	ν_i
1	Repetibilidade das leituras ($\mu\text{Sv/h}$)	A	0,3	9,1	t-Student	$\sqrt{10}$	1,0	0,010	∞
2	Dosimetria em $H^*(10)$ (%)	B	6,4	100,0	Normal	2,0	1,0	0,032	∞
3	Distância de irradiação (mm)	B	0,4	2.639,0	Normal	2,0	1,0	< 0,001	∞
Incerteza-padrão combinada relativa								$u_c(\mathbf{y})(\%)$	ν_{eff}
Incerteza expandida relativa								$U(\mathbf{y})(\%)$	k
Incerteza-padrão combinada relativa								3,4	∞
Incerteza expandida relativa								6,7	2,0

Fonte: Autoria própria.

Repetiu-se o mesmo cálculo para as outras três escalas do equipamento. Sucintamente, na calibração deste monitor de área (Nº de série: 31216), as incertezas expandidas relativas estimadas são 6,7%, 6,4%, 6,4% e 6,5% ($k = 2,0$) referentes a 10 $\mu\text{Sv/h}$, 100 $\mu\text{Sv/h}$, 1.000 $\mu\text{Sv/h}$ e 10.000 $\mu\text{Sv/h}$, respectivamente.

De igual modo, a tabela 5 exhibe as incertezas expandidas estimadas para todos os monitores de área da Cia DQBRN que foram calibrados no LCG no último trimestre de 2023.

Tabela 5 – Incerteza expandida relativa, U(%), associada à grandeza $H^*(10)$ na calibração de monitores de área realizadas no LCG

Dosímetro	Nº de série	10 $\mu\text{Sv/h}$	100 $\mu\text{Sv/h}$	1.000 $\mu\text{Sv/h}$	10.000 $\mu\text{Sv/h}$
1	30297	7,2	6,4	6,4	6,5
2	30299	6,5	6,4	6,4	6,4
3	30302	6,7	6,5	6,4	6,4
4	30304	6,8	6,4	6,4	6,4
5	30310	6,6	6,4	6,4	6,5
6	30311	6,6	6,4	6,4	6,5
7	30316	6,9	6,4	6,4	6,5
8	30320	6,7	6,4	6,4	6,4
9	30340	6,2	6,5	6,4	6,4
10	30346	7,0	6,4	6,4	6,4
11	30353	6,9	6,4	6,4	6,4
12	30354	6,7	6,5	6,8	6,6
13	30357	6,6	6,5	6,4	6,4
14	30364	6,6	6,4	6,4	6,4
15	30376	6,7	6,4	6,4	6,4
16	30388	6,7	6,4	6,4	6,5
17	31190	6,7	6,4	6,4	6,6
18	31202	6,5	6,4	6,4	6,4
19	31206	6,4	6,4	6,4	6,6
20	31208	6,8	6,4	6,4	6,7
21	31210	6,7	6,4	6,5	6,7
22	31213	6,4	6,5	6,4	6,4
23	31216	6,7	6,4	6,4	6,5
24	31218	6,5	6,4	6,4	6,4
25	31221	6,6	6,4	6,4	6,4
∞	Tendência	6,8	6,4	6,4	6,5

Fonte: Autoria própria.

Através de métodos de análise estatística apropriados da tabela 4, é possível observar que no LCG há uma tendência para as calibrações dos dosímetros de leitura direta de que as incertezas expandidas relativas sejam 6,8%, 6,4%, 6,4% e 6,5% para $k = 2,0$ em relação a 10 $\mu\text{Sv/h}$, 100 $\mu\text{Sv/h}$, 1.000 $\mu\text{Sv/h}$ e 10.000 $\mu\text{Sv/h}$, respectivamente.

4. DISCUSSÕES

Como parte do processo de medição nos laboratórios de calibração de instrumentos de medição para radiações ionizantes usados em radioproteção, deve ser realizada uma avaliação das incertezas estimadas à luz dos limites estabelecidos pelas normas vigentes.

Na literatura, não é explicitado o limite máximo incerteza expandida do valor do kerma no ar (ou taxa de kerma no ar) para radiação gama emitida por radionuclídeos, diferente do que é feito para radiação X de referência [5].

As câmaras de ionização calibradas pelo LCG têm suas incertezas estimadas sobre a incerteza global na determinação da grandeza (padrão terciário) e a incerteza de transferência da grandeza para o que seria um instrumento de trabalho (cliente interno) ou um “padrão quaternário” (clientes externos). A definição de limites para as incertezas de instrumentos dessa classe não é comumente realizada pela IAEA [19]. Contudo, para instrumentos-padrões (primário ou secundário rastreado e calibrado) a incerteza expandida ($k = 2,0$) dos coeficientes de calibração não pode exceder 4% na faixa de energia entre 30 keV e 1,5 MeV e não pode exceder 6% fora dessa faixa de energia [6]. Como o Césio-137 possui energia média de 662 keV [5], é limitado pelo primeiro valor.

A incerteza expandida relativa associada aos coeficientes de calibrações de kerma no ar realizadas no LCG foi estimada como 5,3%. Este valor é maior que o limite superior para padrões secundários – o que já era esperado, pois o conjunto de medição do LCG é um padrão terciário. Neste sentido, os resultados alcançados no estudo sugerem que, se o LCG possuísse um padrão terciário advindo do LNMRI com menor incerteza expandida ou tivesse acesso a um padrão secundário, a incerteza global relativa ao N_K poderia ser menor – com chance de se atender ao limite recomendado.

Em comparação aos valores estimados para a incerteza de medição associadas para os N_K dos demais laboratórios de calibração de instrumentos rastreados ao LNMRI, o valor declarado pelo LCG é compatível aos valores das demais instituições da rede brasileira [20].

Em relação à calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, é recomendado que o valor da incerteza expandida total ($k = 2,0$) do valor da dose (ou taxa de dose) deva ser em torno de 6% a 10% para as grandezas operacionais relacionadas aos simuladores da *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) nos campos de referência [5, 6, 7]. Tanto na dosimetria quanto na calibração dos dosímetros de leitura direta, ambas em $H^*(10)$, o maior valor de incerteza associada a esta grandeza tende a 7% – que consente com o intervalo desejado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou a relevância da expressão da incerteza na apresentação do resultado de medição. De início realizou-se uma síntese das etapas de cada processo de medição do LCG. Com foco nas grandezas de saída associadas à dosimetria e à calibração de instrumentos de medição para radiações ionizantes usados em radioproteção, foram identificadas as fontes de incerteza no intuito de possibilitar a combinação dessas contribuições individuais em uma incerteza total única com probabilidade de abrangência de 95,45%.

A caracterização do feixe em kerma no ar teve uma estimativa máxima de incerteza global de 4,5% e a incerteza expandida estimada para o coeficiente de calibração de kerma no ar (resultante da calibração de câmaras de ionização) foi de 5,3% – valor coerente aos declarados por outros laboratórios brasileiros de mesmo nível na hierarquia do sistema metrológico [20].

A dosimetria (em taxa de equivalente de dose ambiente) proporcionou uma incerteza expandida de 6,4%, enquanto que a calibração de monitores de área apresentou uma tendência máxima de 6,8%. Esses valores estão dentro do intervalo recomendado pela IAEA para os monitores de área utilizados em radioproteção.

Além dos aspectos técnicos mencionados anteriormente, é fundamental ressaltar a importância da disseminação do conhecimento sobre a metodologia de expressão e avaliação das incertezas de medição. Esta etapa não se resume apenas a uma tarefa rotineira ou puramente matemática, uma vez que requer um conhecimento detalhado da natureza da grandeza a ser medida e do processo de medição. Assim, a metodologia de quantificação das incertezas, proposta nesta obra, contribui para a melhoria da exatidão e da precisão das medições obtidas, promovendo, em última instância, uma maior confiabilidade na tomada de decisões com base nessas leituras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Exército Brasileiro, ao IDQBRN e ao LNMRI pelo apoio oferecido, proporcionando a realização desta obra.

REFERÊNCIAS

- EME - Estado-Maior do Exército. **Portaria Nº 204**. Aprova a Diretriz para Atualização e Funcionamento do Sistema de Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear do Exército. Brasília, DF, 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 32p.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Vocabulário Internacional de Metrologia**: Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012. 94 p.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Avaliação de dados de medição**: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012. 141 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 4037-1**: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 1: Características das radiações e métodos de produção. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2020. 53 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 4037-2**: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 2: Dosimetria para proteção radiológica nas faixas de energia de 8 keV a 1,3 MeV e de 4 MeV a 9 MeV. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2021. 32 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 4037-3**: Proteção radiológica — Radiação X e gama de referência para calibração de dosímetros e medidores de taxa de dose, e para determinação de suas respostas em função da energia dos fótons. Parte 3: Calibração de dosímetros de área e individuais e a medição de sua resposta em função da energia e do ângulo de incidência. 1.ed. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2020. 68 p.
- VISOMES. **Certificado de calibração Nº LV08025-000173-23-R1**. São Paulo, SP, 2023.
- VISOMES. **Certificado de calibração Nº LV08025-00812A-23-R1**. São Paulo, SP, 2023.
- VISOMES. **Certificado de calibração Nº LV08025-00812B-23-R1**. São Paulo, SP, 2023.
- CIMEQ. **Certificado de calibração Nº 003414/201**. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- LEKAS. **Certificado de calibração Nº 2037423**. Rio de Janeiro, RJ, 2023.

LNMRI - Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. **Certificado de calibração N° 0948/2023S**. Rio de Janeiro, RJ: IRD, 2024.

VF. **Certificate of sealed radioactive source CS7.P04 - 003/15**. Černá Hora, BR, Czech Republic, 2015.

CASEC - Comitê de Avaliação de Serviços de Ensaio e Calibração. **Requisitos Técnicos para Certificação de Laboratório de Calibração de Instrumentos de Medição para Radiação Ionizante Usados em Radioproteção**. Rio de Janeiro, RJ: IRD/CNEN, 2011. 20 p.

IAEA - International Atomic Energy Agency. Calibration of radiation protection monitoring instruments. **Safety reports series, ISSN 1020-6450; N° 16**. Vienna, W, Austria: IAEA, 1999. 162 p.

MENDES, A.; ROSÁRIO, P. P. N. **Metrologia e Incerteza de Medição: Conceitos e Aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2020. 253 p.

LNHB - Laboratoire National Henri Becquerel. **Table de Radionucléides: 137. 55 Cs 82**. Paris, IDF, France: LNE – LNHB/CEA, 2023. 6 p.

PEIXOTO, J. G, P. *et al.* **Ionizing radiation metrology**. 1st ed. Rio de Janeiro, RJ: IRD/CNEN, 2014. 151 p.

CABRAL, T. S. *et al.* **Comparison for Air Kerma from Radiation Protection Gamma-ray Beams with Brazilian Network - 2016/2017**. Journal of Physics: Conference Series. 975. 012042. 10.1088/1742-6596/975/1/012042, 2017.



AMPLLA
EDITORA

