

ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADORES

ALINE MARA OLIVEIRA

OSVALDO SENA GUIMARÃES



VOLUME

12



Editora Poisson



Aline Mara Oliveira
Oswaldo Sena Guimarães
(Organizadores)

Engenharia, Gestão e Inovação Volume 12

1ª Edição

Belo Horizonte
Editora Poisson
2024

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

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

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

Engenharia, Gestão e Inovação - Volume 12/
Organizadores: Aline Mara Oliveira, Osvaldo
Sena Guimarães - Belo Horizonte - MG:
Editora Poisson, 2024

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-373-7

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação. I.
OLIVEIRA, Aline Mara II. GUIMARÃES, Osvaldo
Sena III. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

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

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br

Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Estudo de viabilidade para utilização do método construtivo *Insulated Concrete Forms* (ICF), para execução de uma edificação na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul através do sistema construtivo de paredes autoportantes em concreto armado..... 06

João Victor Pereira Pavan, Priscila Cristina Henke

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.01

Capítulo 2: Eficiência energética: estudo luminotécnico..... 23

Valquiria Melo Souza Correia, Marcilio Luís Viana Correia, Francisco Carlos da Cunha Santana

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.02

Capítulo 3: Simuladores de circuitos elétricos: combinação para uma maior eficácia no ensino-aprendizagem 38

Frederico Silveira Madani, Daniela Albuquerque Moreira Madani, Fernando Silveira Madani, Joares Lidovino dos Reis Junior, Cristiano Roberto Martins Foli, Eduardo Mikio Konigame

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.03

Capítulo 4: Os desafios tecnológicos e de desenvolvimento dos campos de petróleo do Pré-sal com alto teor de CO₂..... 50

Emilaine Maria de Souza Rangel Soares, Geraldo de Souza Ferreira

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.04

Capítulo 5: Implementação e eficiência do Sistema Alternativo de Abastecimento de Água Coletivo – Salta-Z localizado no município de Bujari – AC..... 64

Henrique Amaral de Oliveira, Thales Araújo de Figueiredo, Wilma Furtado Nogueira

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.05

Capítulo 6: Avaliação da presença de compostos fenólicos na água de abastecimento do município de Rio Claro/SP 70

Julia Meliski Mendes, Aurora Mariana Garcia de França Souza

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Ciências de dados aplicados à sustentabilidade 85

Danival Campos Nogueira Junior, Deise Cristina Silva de Oliveira Campos Nogueira

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.07

Capítulo 8: Tecnologia da Informação aplicada à prevenção de acidentes aeronáuticos 96

Danival Campos Nogueira Junior, Deise Cristina Silva de Oliveira Campos Nogueira

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.08

Capítulo 9: Correção de erros gramaticais em inglês: um mapeamento das abordagens de Inteligência Artificial disponíveis..... 112

Elayne Rute Lessa Lemos, Rosalvo Ferreira de Oliveira Neto

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.09

Capítulo 10: Evolução da compatibilidade da blenda BIOPE/ABS por meio da incorporação do copolímero SEBS..... 122

Lucas Cordeiro de Oliveira, Maria Eduarda Barbosa Araújo, Valmar da Silva Severiano Sobrinho, Flávio Urbano da Silva, Bruna Naiara Silva de Oliveira Almeida, Luzidelson Baracho Ribeiro, Carlos Bruno Barreto Luna, João Baptista da Costa Agra de Melo, Renate Maria Ramos Wellen, Edcleide Maria Araújo

DOI: 10.36229/978-65-5866-373-7.CAP.10

Autores 140

Capítulo 1

Estudo de viabilidade para utilização do método construtivo Insulated Concrete Forms (ICF), para execução de uma edificação na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul através do sistema construtivo de paredes autoportantes em concreto armado

João Victor Pereira Pavan

Priscila Cristina Henke

Resumo: Buscando ampliar o conhecimento acerca de sistemas e métodos construtivos mais eficazes, prezando pela sustentabilidade, oferecendo benefícios como produtividade, economia financeira e redução de resíduos provenientes da construção, mas principalmente, conforto térmico e acústico, identificou-se no mercado a metodologia construtiva *Insulated Concrete Forms* (ICF), empregada pela empresa ARXX Brasil. Esta metodologia, originalmente americana, é adotada no sistema construtivo de paredes em concreto, que por sua vez, permite a execução de edificações autoportantes, proporcionando altos índices de conforto térmico e acústico. As fôrmas utilizadas na execução das paredes são fabricadas em EPS (Poliestireno Expandido), tendo suas faces fixadas por meio de componentes denominados “*fingers*”, os quais são considerados no cálculo estrutural da parede. As paredes são facilmente montadas, como peças de lego, as quais se encaixam umas com as outras por meio de encaixes do tipo macho-fêmea. A partir deste contexto, o presente estudo focou em apresentar esta metodologia inovadora, demonstrando sua aplicabilidade por meio de um estudo comparativo com o sistema construtivo convencional, amplamente utilizado no Brasil. A partir disso, foram obtidos resultados significativos que demonstram que a metodologia ARXX ICF é a mais viável de ser utilizada, principalmente em regiões em que as estações do ano são bem definidas, como por exemplo, os estados localizados na região sul do Brasil.

Palavras-chave: *Insulated Concrete Forms*, Construção Modular, Fôrmas Termoacústicas em EPS, Metodologia Construtiva Inovadora.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nunca antes houve tanta discussão global sobre sustentabilidade como nos últimos tempos. Isso se deve ao fato de que o mundo está passando por um processo acelerado de inovação tecnológica. Com isso, buscar formas mais eficientes de lidar com os recursos naturais disponíveis, além do desenvolvimento de tecnologias capazes de substituir ou reaproveitar esses recursos, evoluindo para a preservação do nosso planeta, se faz necessário.

A relação entre sustentabilidade e construção civil está ligada diretamente aos impactos ambientais que a construção acarreta ao meio ambiente. No Brasil, por exemplo, a construção civil é uma das principais fontes de geração de resíduos, responsável por aproximadamente 50% dos sólidos gerados, segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE). A busca por meios construtivos mais sustentáveis, engloba um conjunto de práticas que visa projetar, construir e operar edificações de forma a minimizar o impacto ambiental, promover a eficiência no uso de recursos e melhorar a qualidade de vida das pessoas envolvidas.

O sistema construtivo convencional, onde utiliza-se estrutura em concreto armado e paredes de vedação em alvenaria, é o mais utilizado no Brasil para execução de edificações comerciais e residenciais. Este sistema gera inúmeros impactos ambientais e grande volume de resíduos, considerando todo o seu processo, que vai desde a extração de matéria-prima até a execução da obra (ROTH e GARCIAS, 2009).

Por conta disso, a utilização de outros sistemas e metodologias construtivas que buscam reduzir o consumo de materiais, minimizar o impacto ambiental, e proporcionar melhores níveis de conforto às edificações, são fundamentais. Em virtude disso, passou a ser adotado em diversos lugares do mundo, assim como no Brasil, outros sistemas construtivos.

Como exemplo de sistema construtivo inovador, buscando como alternativa a redução dos impactos ocasionados pelo sistema convencional, temos o sistema em paredes de concreto armado, utilizando a metodologia *Insulated Concrete Forms (ICF)*, empregado pela empresa ARXX Brasil. A qual dispõem de fôrmas termoacústicas em EPS (Poliestireno Expandido), visando a construção de paredes em concreto armado revestidas com material isolante, proporcionando resistência estrutural e melhores níveis de conforto às edificações.

Essa abordagem apresenta inúmeras vantagens e promove novas perspectivas para o setor da construção civil no Brasil. Além da total reciclabilidade das fôrmas utilizadas, trata-se de uma metodologia limpa, eficiente e leve. Ela também se destaca pela baixa condutividade termo/acústica, impermeabilidade e pela redução dos prazos de execução das obras, significativa minimização de desperdícios e um aproveitamento mais eficaz da mão de obra (SANTOS, 2020).

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho propõe uma análise de um estudo de caso que aborda a construção de um modelo de residência unifamiliar. Serão considerados o emprego do sistema em paredes autoportantes em concreto armado por meio da metodologia ICF da empresa ARXX Brasil e o sistema convencional em estruturas de concreto armado com vedação em tijolos/blocos de alvenaria. O objetivo é apresentar dados técnicos e orçamentários de forma comparativa.

Para isso, foi realizado contato com a empresa ARXX Brasil, localizada na cidade de Vila Velha no estado do Espírito Santo, com objetivo de obter dados e custos envolvidos no processo construtivo em ICF. Quanto a obtenção de dados da metodologia convencional, utilizou-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2023), do estado do Rio Grande do Sul.

Em seguida, foi realizado um estudo orçamentário e de benefícios térmicos e acústicos utilizando as duas metodologias e sistemas construtivos. Para assim, poder compreender se o método da ARXX ICF proporciona benefícios em relação ao sistema convencional, quando comparados os dois sistemas. O desenvolvimento do presente trabalho tem como finalidade ampliar os conhecimentos técnicos quanto ao método construtivo *Insulated Concrete Forms* (ICF) a partir dos blocos/fôrmas da empresa ARXX Brasil, utilizados para execução do sistema de paredes autoportante em concreto armado.

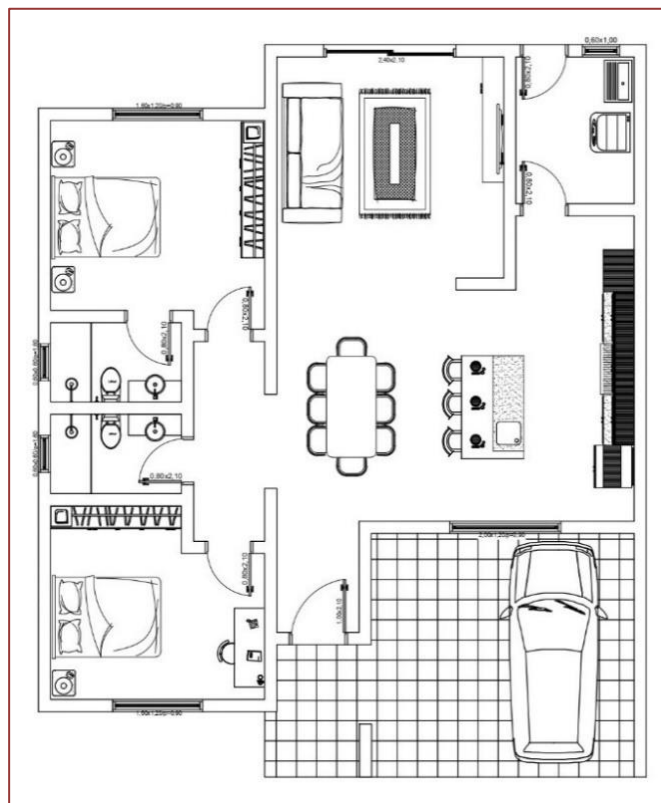
A presente pesquisa tem caráter exploratório, a qual propõem conhecer e analisar as características, materiais e componentes do método, de forma qualitativa e quantitativa. Buscando identificar se este apresenta benefícios suficientes para ser substituído pelo sistema e metodologia convencional na execução de uma edificação modelo, no estado do Rio Grande do Sul.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. DADOS DO PROJETO

Para realizar o cálculo de custos e efetuar a comparação entre os sistemas construtivos em estudo, desenvolveu-se um projeto modelo de uma residência unifamiliar com área total de 148,33 m². O projeto compreende uma construção térrea, contendo uma sala de estar, uma cozinha/sala de jantar, um quarto, uma suíte, um banheiro social, uma área de serviço e uma garagem, conforme Figura 01. Ainda, para fins de orçamento, foi considerado um período de 8 horas/dia durante 120 dias para execução da edificação modelo, comparando valores de mão de obra dos sistemas em análise.

Figura 01 - Planta Baixa Humanizada da Edificação Modelo



Fonte: Autor (2013).

É possível verificar na Tabela 01 a distribuição de áreas da edificação residencial unifamiliar.

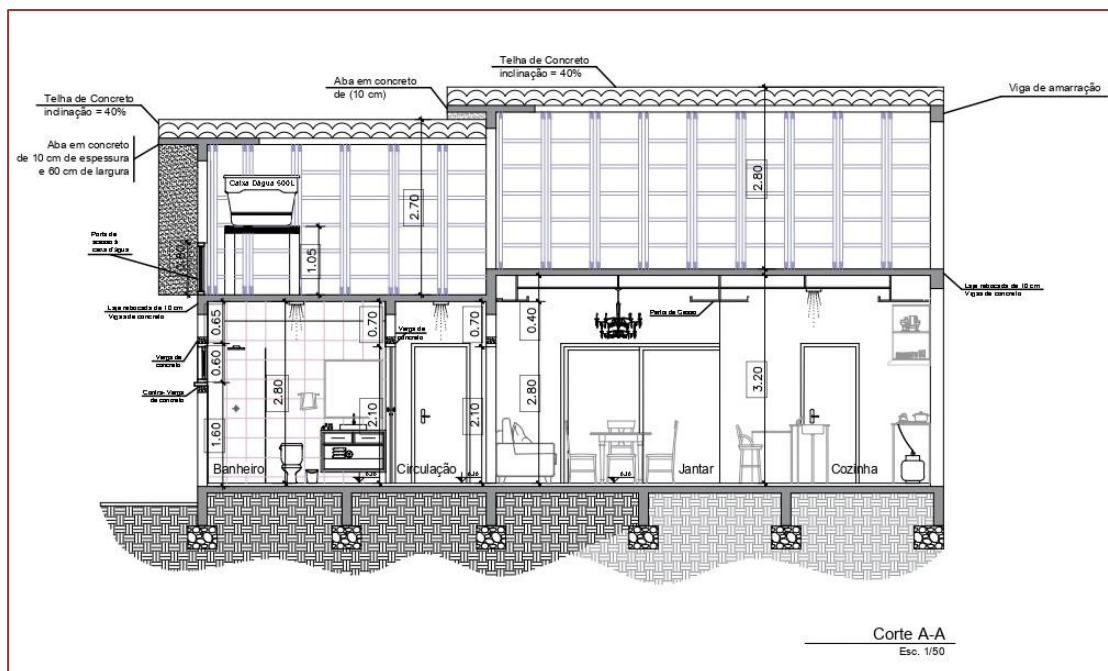
Tabela 01 - Distribuição de Áreas

Cômodo	Área (m)
Garagem	27,32
Hall de Entrada	3,26
Cozinha/Sala de Jantar	32,61
Sala de Estar	18,65
Área de Serviço	6,22
Circulação	5,46
Quarto 01	13,37
Banheiro Social	3,70
Suíte Casal	15,00
Banheiro (Suíte)	3,70

Fonte: Autor (2013).

Na Figura 02, verifica-se a imagem ilustrativa da planta de corte da edificação modelo.

Figura 02 - Planta de Corte da Edificação Modelo



Fonte: Autor (2013).

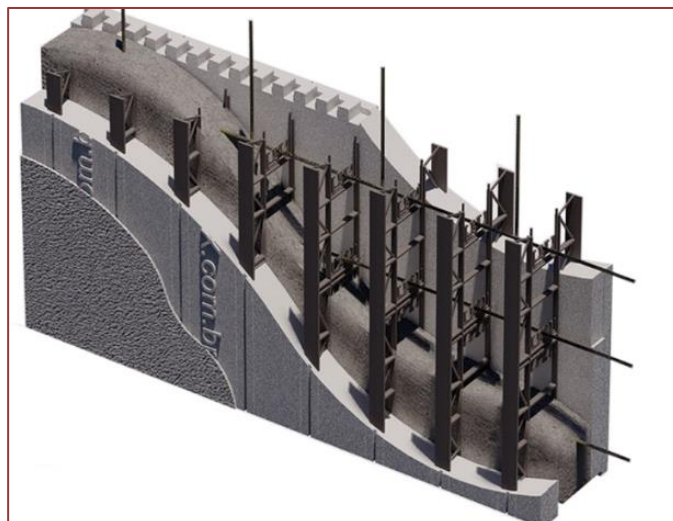
3.2. DETALHAMENTO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Neste trabalho, foram adotadas fôrmas termoacústicas de poliestireno expandido (EPS), ARXX PRIME (AP100) - RETAS e ARXX PRIME (AP190) - CANTO, caracterizadas por serem, ambas com função estrutural, utilizadas como paredes autoportantes.

A fôrma AP100, tendo seu corte representado na Figura 03, possui dimensões de 120 x 60 x 23 cm (Comprimento, altura e largura), com peso de 4,5 kg/unidade, enquanto a fôrma AP190 possui dimensões de 90 + 45 x 60 x 23 cm (Comprimento, altura e largura), com peso de 4,1 kg/unidade. Ambas as fôrmas possuem chapas de EPS de 6,5 cm, recebendo internamente 0,072 m³ de volume de concreto. Dispõem de conectores plásticos de alta densidade que unem as chapas de EPS, sendo estes considerados no cálculo estrutural das paredes, suportando 235 kg/cm² de arrancamento, reduzindo a quantidade de aço de reforço tipo CA50.

Utilizou-se também a fôrma termoacústica ARXX VEDA (AV40) - RETA, empregada apenas na vedação das paredes, não sendo de caráter estrutural. Possui dimensões de 120 x 60 x 23 cm (Comprimento, altura e largura), com peso de 1,2 kg/unidade, tendo suas chapas de EPS 5 cm de espessura, recebendo internamente 0,024 m³ de volume de argamassa. Dispõem também de conectores plásticos de alta densidade que unem as chapas de EPS.

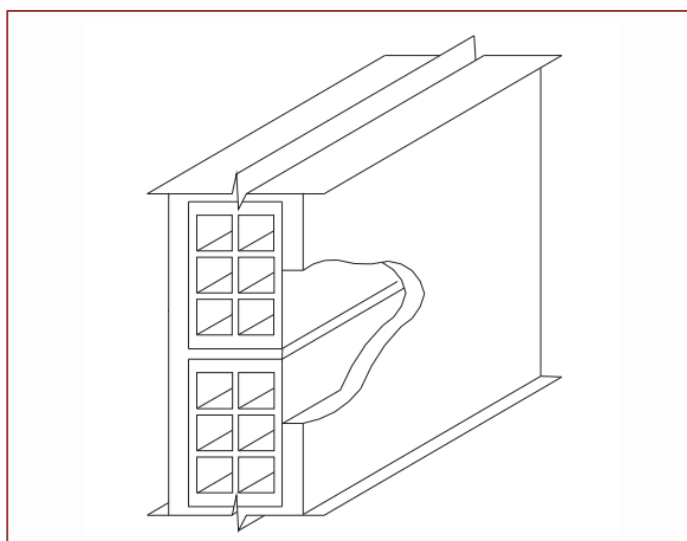
Figura 03 - Tipologia das Fôrmas Termoacústicas ARXX PRIME



Fonte: ARXX Brasil (2023).

Para comparação, adotou-se no sistema convencional (estrutura em concreto armado e vedação de tijolos cerâmicos), tijolos cerâmicos de 6 furos, com dimensões de 9 x 14 x 19 cm (Largura, altura e comprimento), com peso de 1,8 kg, assentados na menor direção. Foi utilizado 1 cm de espessura de argamassa de assentamento e 2,5 cm de argamassa de revestimento, tanto para paredes internas quanto externas. Totalizando 14 cm de espessura de parede revestida, conforme representado na Figura 04.

Figura 04 - Tipologia da Parede Convencional



Fonte: NBR 15220 (2005).

3.3. DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com SIQUEIRA (2005), a avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes.

Quanto a avaliação do desempenho térmico das edificações, a influência das condições climáticas é crucial para a realização desta avaliação. Para avaliar o desempenho térmico de uma edificação em condições climáticas dinâmicas, é necessário ter dados horários sobre radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa, que nem sempre estão disponíveis. Portanto, é necessário obter esses dados a partir de valores disponíveis e tratá-los adequadamente para avaliar o desempenho térmico de edificações em dias típicos de projeto (SIQUEIRA, 2005).

Os Engenheiros do LabEEE - UFSC (2016), citam que:

A parte 4 da NBR 15575 trata dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) dos edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, que além da volumetria e da compartimentação dos espaços internos do imóvel, integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção, recebendo influências e influenciando o desempenho do edifício habitacional. Mesmo sem função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas, ou sofrer as ações decorrentes das deformações das estruturas, requerendo assim uma análise conjunta do desempenho dos elementos que interagem. As vedações verticais exercem ainda importantíssimas funções de estanqueidade, à água, isolamento térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas e compartimentação em casos de incêndio (UFSC, 2016).

De acordo com a NBR 15.575/2013, A transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total [...]. Percebe-se a partir disto, que quanto maior é o valor de transmitância térmica de um determinado material, maior é a facilidade com que este transfere calor para o meio. Para efeito de comparação, usou-se os desempenhos térmicos dos tijolos cerâmicos, adotados no sistema convencional em comparação com as fôrmas de EPS da ARXX ICF.

Quanto ao método de avaliação, a ABNT NBR 15220-2 trata dos procedimentos de cálculo a serem realizados para encontrar tais valores. Porém, a comparação de desempenho térmico dos componentes em análise, se darão a partir de dados já disponibilizados, seja pela ABNT NBR 15220-3 para o tijolo cerâmico, como também pelo Manual Técnico da ARXX Brasil para as fôrmas termoacústicas.

A ABNT NBR 15575-4 (2013), fornece os valores máximos e mínimos de transmitância térmica de paredes externas, que podem ser considerados aceitáveis no interior de uma edificação para as zonas bioclimáticas brasileiras estabelecidos na ABNT NBR 15575-3 (2013), conforme demonstrado na Tabela 02.

Tabela 02 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U [W/m ² .K]		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

α^a = é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

3.4. CONFORTO ACÚSTICO

Níveis de ruído acima dos limites aceitáveis pelos usuários não apenas causam desconforto, mas também interferem no desempenho de tarefas, na compreensão da fala e no sono. Além disso, de maneira geral, o ruído afeta negativamente a saúde e o bem-estar das pessoas. A exposição prolongada a ruídos intermitentes pode resultar em diversos efeitos psicofisiológicos, como estresse e hipertensão (FERRAZ, 2008).

Conforme a ABNT NBR 15575 (2013), a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes.

A ABNT NBR 15.575-4 (2013), define dois critérios de avaliação: a Diferença Padronizada de Nível Ponderado (DnT,w), obtido em campo, e o Índice de Redução Sonora (Rw), obtido em laboratório. Em ambos os critérios são estabelecidos três níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

Para a realização da análise do desempenho acústico das fôrmas termoacústicas ARXX PRIME e ARXX VEDA, bem como, do tijolo cerâmico, foram utilizados valores já estabelecidos para ambos os componentes.

Quanto ao desempenho acústico do tijolo cerâmico, foi utilizado para fins de comparação e avaliação, valor obtido a partir da análise laboratorial, utilizando o método do Índice de Redução Sonora (Rw), realizada por NETO e BERTOLI (2010). Onde buscou-se verificar se o desempenho acústico de paredes executadas com tijolos cerâmicos atendia aos níveis mínimos exigidos pela Norma de Desempenho Brasileira (ABNT NBR 15575).

Segundo NETO e BERTOLI (2010), o tijolo/bloco cerâmico em si não é o único responsável pelos valores de desempenho acústico. Contribuem para o desempenho também o tipo e a densidade de argamassa, a colocação da argamassa nas juntas e o próprio reboco.

Conforme demonstrado na Tabela 03, é possível verificar para as vedações externas (fachadas), a Diferença Padronizada de Nível Ponderado (D_{2mnT,W}) para ensaios de campo e o Índice de Redução Sonora (Rw).

Tabela 03 – $D_{2mnT,W}$ e R_w de vedações externas (fachadas)

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2mnT,W}$ dB	R_w dB ^a	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20	≥ 25	M
		≥ 25	≥ 30	I
		≥ 30	≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥ 25	≥ 30	M
		≥ 30	≥ 35	I
		≥ 35	≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30	≥ 35	M
		≥ 35	≥ 40	I
		≥ 40	≥ 45	S

NOTA: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).
 R_w com valores aproximados.
 $2m$ – distância da vedação externa.

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013).

3.5. PRODUTIVIDADE

Neste trabalho, a produtividade a ser considerada, será a de mão-de-obra, que segundo SOUZA (2015), pode ser medida através da Razão Unitária de Produção (RUP), sendo a forma mais direta de se medir a quantificação de mão-de-obra necessária, que é expressa em homens-hora demandados para se produzir 1 metro quadrado.

Segundo SANTOS (2020), a Razão Unitária de Produção Diária é calculada a cada período de um dia de trabalho. Na metodologia do SINAPI, cada composição aferida apresenta coeficientes determinados estatisticamente a partir de amostra composta por, no mínimo, 10 diferentes obras representativas do território nacional, constituída de medições diárias pelo prazo mínimo de 5 dias em cada uma.

Buscando realizar o comparativo de produtividade da mão de obra empregada para execução de ambos os sistemas, utilizou-se os valores já fornecidos nos Manuais Técnicos da ARXX Brasil, os quais trazem também valores de produtividade do sistema convencional.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS

Quanto aos custos de composições e materiais do sistema convencional, composto por estrutura de concreto armado e alvenaria de vedação, foi utilizado como base de cálculo, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2023).

Na obtenção de dados quanto ao peso em Kg de aço a ser considerado na estrutura (vigas e pilares), utilizou-se o software Eberick no dimensionamento, o qual gera em seu relatório de cálculo, a quantidade e bitola de vergalhões a serem considerados nas armaduras negativas e positivas de acordo com os esforços solicitantes que foram considerados na estrutura. Em contrapartida, os custos de composições e materiais para o sistema em paredes autoportantes em concreto armado, por meio do método ARXX ICF,

foram fornecidos pela empresa ARXX Brasil, visto estes dados não estarem disponíveis para consulta pública.

4.2. DETALHAMENTO DE CUSTOS

Neste item serão apresentadas as planilhas orçamentárias com valores específicos para o sistema convencional, quanto para o sistema de paredes autoportantes utilizando a metodologia construtiva ARXX ICF. Além disso, é apresentada a planilha orçamentária com os valores de composições, materiais e serviços aplicados a ambos os sistemas, para efeito de comparação do custo final.

4.2.1 SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL (ESTRUTURA EM CONCRETO E VEDAÇÃO CERÂMICA)

Na Tabela 04, é possível verificar de forma resumida, os custos referentes aos itens correspondentes ao sistema convencional.

Tabela 04 - Orçamento Estimado para o Sistema Convencional

Sistema Convencional em Estrutura Armada e Paredes de Vedação em Alvenaria		
Item	Descrição	Custo Total
1.0	Supraestrutura	R\$ 71.620,45
2.0	Paredes e Painéis	R\$ 20.006,96
3.0	Revestimento Interno	R\$ 24.696,15
4.0	Revestimento Externo	R\$ 9.555,00
5.0	Instalações Elétricas	R\$ 8.166,53
6.0	Instalações Hidráulicas	R\$ 7.210,22
Custo Total da Obra		R\$ 141.255,31

Fonte: Autor com base nos dados do SINAPI (10/2023).

4.2.2 SISTEMA EM PAREDES DE CONCRETO ARMADO (FÔRMAS DE EPS EM ARXX ICF)

Na Tabela 05, é possível verificar de forma resumida, os custos referentes aos itens correspondentes ao sistema em paredes autoportante, utilizando a metodologia ARXX ICF.

Tabela 05 - Orçamento Estimado para o Sistema em Paredes Autoportante - ARXX ICF

Sistema em Paredes Autoportante em Concreto Armado - ARXX ICF		
Item	Descrição	Custo Total
1.0	Supraestrutura	R\$ 73.129,85
2.0	Paredes e Painéis	R\$ 10.289,62
3.0	Revestimento Interno	R\$ 23.383,84
4.0	Revestimento Externo	R\$ 9.555,00
5.0	Instalações Elétricas	R\$ 7.690,21
6.0	Instalações Hidráulicas	R\$ 6.928,24
Custo Total da Obra		R\$ 130.976,76

Fonte: Autor com base nos dados fornecidos pela ARXX Brasil (10/2023).

4.2.3 ITENS COMUNS APLICADOS AOS DOIS SISTEMAS

Na Tabela 06, é possível verificar de forma resumida, os custos referentes aos itens que se aplicam aos sistemas em análise.

Tabela 06 - Orçamento Estimado para Ambos os Sistemas em Análise

Custos das Etapas Aplicadas aos Dois Sistemas Construtivos		
Item	Descrição	Custo Total
1.0	Mão de Obra	R\$ 72.326,40
2.0	Infraestrutura	R\$ 19.781,99
3.0	Esquadrias	R\$ 16.940,81
4.0	Cobertura	R\$ 40.583,35
5.0	Impermeabilizações	R\$ 3.701,33
6.0	Forros	R\$ 5.428,90
7.0	Pisos	R\$ 15.981,52
8.0	Pintura	R\$ 6.900,0
9.0	Acabamentos	R\$ 3.460,32
10.0	Instalações de Esgoto e Águas Pluviais	R\$ 6.696,47
11.0	Louças e Metais	R\$ 2.373,90
Custo Total da Obra		R\$ 194.174,99

Fonte: Autor com base nos dados do SINAPI (10/2023).

4.2.4 COMPARATIVO DE CUSTOS

Na Tabela 07 é apresentado o comparativo final entre as estimativas de custos para execução da edificação modelo adotada neste estudo de viabilidade.

Tabela 07 - Comparativo entre Estimativa de Custos dos Sistemas em Análise

Sistema	Estimativa de Custo (R\$)	Diferença (R\$)	Variação (%)
Convencional em estrutura de concreto armado e vedação em alvenaria	141.255,31	10.278,55	-7,27
Paredes Autoportantes em ARXX ICF	130.976,76		

Fonte: Autor (2023).

Conforme o comparativo apresentado na Tabela 07, verifica-se uma variação no custo estimado de -7,276 % entre os dois sistemas, que corresponde a uma economia de R\$ 10.278,55 adotando a metodologia ARXX ICF.

4.2.5 DESEMPENHO TÉRMICO

Foi considerado no presente estudo, a zona bioclimática 2, conforme classificação definida pela ABNR NBR 15575-3, visto nela encontrar-se a região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (em análise). A partir disto, o valor máximo de transmitância térmica (U) adotado para esta análise, foi de 2,5 W/m².K.

Os valores de transmitância térmica (U) das paredes de alvenaria (Tijolo cerâmico de 14 cm de espessura) e das paredes em concreto armado (Fôrmas termoacústicas ARXX ICF) adotadas, podem ser verificados na Tabela 08.

Tabela 08 - Valores de Transmitância Térmica

Fôrma Termoacústica ARXX PRIME/ARXX VEDA	
Transmitância Térmica	U = 0,24 W/m ² .K
Espessura da Parede	23 cm
* Valor obtido por meio dos Manuais Técnicos da ARXX BRASIL (2013)	
Tijolo Cerâmico de 6 Furos	
Transmitância Térmica	U = 2,48 W/m ² .K
Espessura da Parede	14 cm
*Valor obtido por meio da ABNT NBR 15220 (2003)	

Fonte: Autor (2023).

A partir dos valores obtidos, é possível verificar na Tabela 09 o comparativo entre as transmitâncias térmicas (U) de ambos os materiais.

Tabela 09 - Comparativo de Valores de Transmitância Térmica (U)

Sistema	Transmitância Térmica (W/m².K)	Transmitância Máxima (W/m².K)	Diferença (W/m².K)	Variação (%)
Paredes em ARXX ICF	0,24	2,5	2,24	-90
Alvenaria Convencional	2,48			

Fonte: Autor (2023).

Diante do exposto, é possível verificar a diferença significativa dos valores de transmitância entre os sistemas construtivos. O sistema utilizando as fôrmas termoacústicas da ARXX Brasil, representam uma eficiência de 90% a mais que o sistema convencional, resultando em elevado conforto térmico, podendo ainda reduzir o uso de aparelhos de ar condicionado, gerando outros ganhos, como por exemplo, economia com energia elétrica.

4.2.6 CONFORTO ACÚSTICO

Tanto edificações residenciais, quanto comerciais, devem dispor de materiais com bom isolamento acústico, de modo a permitirem baixa transmissão sonora entre ambientes internos, ou externos para internos. De forma resumida, os usuários desejam que o mínimo de sons externos ultrapasse as paredes de suas residências (OLIVEIRA, 2021).

Compreendida a importância do desempenho acústico para as edificações, foi realizado comparativo entre os valores de desempenho dos sistemas em estudo. Para realização do comparativo, adotou-se o valor mínimo de conforto definido pela ABNT NBR 15575 (2013), buscando identificar se os sistemas atendem ao valor mínimo recomendado pela norma.

Na Tabela 10 verificam-se os valores disponibilizados nos manuais técnicos da empresa ARXX Brasil, mediante ensaios realizados pela própria empresa para com seus materiais. Ainda, a obtenção dos resultados apresentados, quanto ao desempenho acústico das paredes executadas com as fôrmas termoacústicas ARXX ICF, são atingidos quando utilizados materiais de revestimento nas faces em EPS da parede.

Tabela 10 - Desempenho Acústico - Fôrmas ARXX Brasil

Fôrma Termoacústica ARXX PRIME	
Espessura da Parede	23 cm
Desempenho Acústico	até 65 dB
Fôrma Termoacústica ARXX VEDA	
Espessura da Parede	14 cm
Desempenho Acústico	até 55 dB

Fonte: Adaptado do Manual Técnico da ARXX Brasil (2023).

Na Tabela 11 verifica-se o resultado encontrado por NETO e BERTOLI (2010), a partir dos ensaios realizados utilizando os equipamentos do laboratório da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), para o sistema convencional.

Tabela 11 - Desempenho Acústico - Tijolo Cerâmico

Tijolo Cerâmico Furado	
Espessura da Parede	14 cm
Desempenho Acústico	até 39 dB

Fonte: Adaptado de NETO E BERTOLI (2010).

Na Tabela 12 é possível verificar o comparativo final realizado entre os sistemas convencional e o sistema de paredes autoportantes, utilizando a fôrma termoacústica ARXX AP, possuindo estas, função estrutural.

Tabela 12 - Comparativo de Transmissão Sonora

Sistema	Desempenho Acústico (dB)	Desempenho Mínimo (dB)	Diferença (dB)	Variação (%)
Paredes em ARXX AP	65	45	-26	66,6
Alvenaria Convencional	39			

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 13, a seguir, é possível verificar o comparativo final realizado entre os sistemas convencional e o sistema de paredes autoportantes, utilizando a fôrma termoacústica ARXX AV, possuindo estas, função de vedação.

Tabela 13 - Comparativo de Transmissão Sonora

Sistema	Desempenho Acústico (dB)	Desempenho Mínimo (dB)	Diferença (dB)	Variação (%)
Paredes em ARXX AV	55	45	-16	41
Alvenaria Convencional	39			

Fonte: Autor (2023).

Observando a Tabela 12 e 13, é possível constatar que as paredes autoportantes utilizando a metodologia construtiva ARXX ICF, possuem uma eficiência muito superior a das paredes executadas por meio do sistema convencional. As fôrmas termoacústicas ARXX AP 100/190 por exemplo, correspondem a um percentual de 66,6% mais eficientes

acusticamente do que o sistema convencional, enquanto as fôrmas termoacústicas ARXX AV 100, correspondem a 41% mais eficientes.

Também, é possível verificar que o valor de desempenho acústico obtido em decibéis (dB), para as paredes convencionais, mediante análise laboratorial, está abaixo do mínimo exigido pela Norma de Desempenho ABNT NBR 15575 (2013). O que descaracteriza esta espessura de parede, por meio dos materiais nela utilizados, como uma tecnologia construtiva capaz de proporcionar conforto aos usuários.

4.2.7 PRODUTIVIDADE

Sabendo-se da importância de reduzir o tempo gasto com a execução da obra, buscando a redução de custo com mão de obra, analisou-se a demanda de homens-hora (Hh) necessário para executar 1 m² de parede, para os sistemas em estudo. Para isso, utilizou-se os dados fornecidos no Manual Técnico da empresa ARXX Brasil (2023).

Na Tabela 14 é possível verificar os valores de produtividade, tanto para as fôrmas da ARXX ICF, quanto para o sistema convencional, utilizando tijolos/blocos como material de vedação de paredes.

Tabela 14 - Comparativo entre fatores de produtividade de mão de obra

PAREDE DE VEDAÇÃO		
Tipo de Bloco	ARXX VEDA	Alvenaria Convencional
Mão de Obra	0,38 Hh/m ²	1,22 Hh/m ²
PAREDES ESTRUTURAIS		
Tipo de Bloco	ARXX PRIME/STEEL	Alvenaria Convencional
Mão de Obra	0,38 Hh/m ²	1,42 Hh/m ²

Fonte: Adaptado do Manual Técnico da ARXX Brasil (2023).

Na Tabela 15 verifica-se o comparativo de produtividade entre o sistema convencional (tijolos cerâmicos) e o sistema autoportante, utilizando as fôrmas de vedação ARXX AV 100.

Tabela 15 - Comparativo de Produtividade

Sistema	Demanda (Hh/m ²)	Diferença (Hh/m ²)	Varição (%)
Paredes em ARXX AV	0,38	0,84	221,1
Alvenaria Convencional	1,22		

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 16 verifica-se o comparativo de produtividade entre o sistema convencional (tijolos cerâmicos) e o sistema autoportante, utilizando as fôrmas estruturais ARXX AP 100/190.

Tabela 16 - Comparativo de Produtividade

Sistema	Demanda (Hh/m ²)	Diferença (Hh/m ²)	Varição (%)
Paredes em ARXX AP	0,38	1,04	273,7
Alvenaria Convencional	1,42		

Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 17 é possível verificar a quantidade de blocos necessários em cada um dos sistemas em análise, considerando para cada um, 2% de perda, de modo a comparar o peso total de blocos necessários para execução da edificação modelo através dos sistemas construtivos em estudo. Isso porque, a produtividade está relacionada com diversos fatores, como por exemplo: quantidade de material, o peso e a praticidade na execução.

Tabela 17 - Quantidade de Blocos Necessários para cada Sistema Construtivo

Sistema	Quantidade (und)	Peso Total (Kg)	Diferença (Kg)	Varição (%)
Paredes em ARXX ICF	468	1.480,3	15.196,7	91,12
Alvenaria Convencional	9.265	16.677		

Fonte: Autor (2023).

Analisado as tabelas 16 e 17, é possível constatar que a metodologia ARXX ICF, empregada no sistema construtivo em paredes autoportante, mais uma vez mostrou-se eficiente em relação ao sistema convencional. A diferença entre os fatores de produtividade do sistema convencional, quando comparado às fôrmas estruturais ou de vedação da ARXX Brasil, está diretamente ligado a quantidade de blocos ou tijolos cerâmicos que correspondem às fôrmas ARXX.

Mediante os valores obtidos, é notório que a metodologia ARXX ICF gera maior economia produtiva em sua execução, quando comparado ao sistema convencional, reduzindo o tempo e custos da obra com mão de obra. Além disso, as fôrmas termoacústicas ARXX, em sua totalidade, são 91,12% mais leves que os tijolos convencionais, gerando maior praticidade executiva e redução no tempo de execução.

5. CONCLUSÕES

Buscando ampliar as áreas de conhecimento e o estudo de novas tecnologias, visto que cada vez mais tem se discutido formas mais sustentáveis e benéficas de se edificar. Prezando pelo bem estar dos usuários, gerando benefícios como conforto e economia financeira, o presente trabalho foi de grande relevância, contribuindo significativamente para a construção do conhecimento técnico como Engenheiro Civil. Isso porque, o mesmo possibilitou que se conhecesse mais sobre a metodologia construtiva ICF (*Insulated Concrete Forms*) e os benefícios proporcionais pela mesma.

No presente trabalho, procurou-se reunir informações a respeito da metodologia ICF por meio da empresa ARXX Brasil, que utiliza esta metodologia na construção do sistema em paredes autoportantes em concreto armado. A partir das informações obtidas, foram realizadas análises comparativas de desempenho térmico, conforto acústico, produtividade e economia financeira. Para fins de comparação, foi realizada análise do

sistema convencional em estruturas de concreto e paredes de vedação em alvenaria, analisando as mesmas características para execução de uma edificação modelo.

A partir das análises comparativas e resultados encontrados no presente estudo, verificou-se que o sistema em paredes autoportantes em ARXX ICF possui uma redução de 90% na transmitância térmica que o sistema convencional. Além disso, possui desempenho acústico superior ao convencional, representando um aumento de 66,6%. Outro fator importante é a produtividade construtiva, analisada por meio da demanda de homens-hora (Hh), que representou 273,7% a menos do que o convencional. Proporcionando velocidade na execução da edificação, considerando uma redução total no peso dos materiais utilizados, de 91,12% em relação aos tijolos convencionais. Quanto a comparação de custos, verificou-se uma redução de 7,27% em relação ao convencional, resultando em uma economia financeira de R\$ 10.278,55.

Diante do exposto, fica claro que a metodologia construtiva ARXX ICF, além de benefícios térmico/acústico e de produtividade, gera mais economia financeira se comparado ao sistema e metodologia convencional. Portanto, é evidente e necessária a recomendação e adoção desta tecnologia, principalmente em regiões como o estado do Rio Grande do Sul, que é caracterizado por estações bem definidas. No geral, conclui-se com base nas análises e estudos realizados que o ICF possui melhor desempenho, deixando claro sua superioridade e benefícios aos usuários.

REFERÊNCIAS

- [1] ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** – 2.8 Resíduos de construção e demolição (RCD). Brasil, 2020.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 - **Edificações habitacionais — Desempenho**. Rio de Janeiro. ABNT, 2021.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 –**Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro. ABNT, 2005.
- [4] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Revista Técnica 2021**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [5] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Revista Institucional 2022**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [6] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Revista Institucional 2023**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [7] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Manual Técnico 2023**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [8] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Paredes Termoacústicas de Concreto Armado**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [9] ARXX BRASIL – Redefinindo a Construção. **Infográfico das Etapas Construtivas**. GRUPO BAUEN, Copyright, 2016. Vila Velha - ES. Disponível em: <<https://arxx.com.br/>>. Acesso em: 10 de junho de 2023.
- [10] FERRAZ, R. **ATENUAÇÃO DE RUÍDO DE IMPACTO EM PISOS DE EDIFICAÇÕES DE PAVIMENTOS MÚLTIPLOS**. Dissertação de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal. Belo Horizonte, 2008.
- [11] **LabEE. DESEMPENHO TÉRMICO**. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- [12] NETO, F. F. M, BERTOLI, R, S. **DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAREDES DE BLOCOS E TIJOLOS**

CERÂMICO: UMA COMPARAÇÃO ENTRE BRASIL E PORTUGAL. Revista Online Ambiente Construído, 2010.

[13] OLIVEIRA, B. V. J. **ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DE ICF E TIJOLOS CERÂMICOS A PARTIR DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E ACÚSTICAS.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, 2021.

[14] ROTH, C. D. G.; GARCÍAS, C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental.** Desenvolvimento em Questão, n. 7, jan./jun 2009. ISSN 13.

[15] SANTOS, C. C. T. **SISTEMA CONSTRUTIVO INSULATED CONCRETE FORMS (ICF): ESTUDO DE CASO.** Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Faculdade Doctum, Juiz de Fora – MG, 2020.

[16] SEQUEIRA, A. P. C. T. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações** – Revista Escola de Minas, 2005. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/rem/a/sNXPphzMmBvGKvjfDKMsNQH/?lang=pt#>>. Acesso em 02 de junho de 2023.

[17] SOUZA, L. E. U. **COMO MEDIR A PRODUTIVIDADE DA MÃO-DE-OBRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2015.

Capítulo 2

Eficiência energética: estudo luminotécnico

Valquiria Melo Souza Correia

Marcilio Luís Viana Correia

Francisco Carlos da Cunha Santana

Resumo: Este estudo tem como objetivo contribuir para a sustentabilidade através da análise da eficiência energética nos auditórios dos blocos de professores I e II do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA – UFERSA/RN), uma instituição federal de ensino superior. O aumento do consumo de energia elétrica é um problema que afeta não somente as instituições públicas, mas também ao meio ambiente, já que a geração de energia pode contribuir para a emissão de gases de efeito estufa. Para reduzir o desperdício e aumentar a eficiência energética, o estudo utiliza técnicas de análise luminotécnica para calcular e medir a quantidade de luz necessária em cada ambiente. Isso permitirá que as luminárias sejam ajustadas de acordo com as necessidades dos usuários, evitando assim o uso excessivo de energia elétrica. Para realizar as medições, o estudo utilizou um luxímetro, responsável por medir a densidade e intensidade de luz em pontos estratégicos dos auditórios I e II dos Blocos dos Professores do CMA- UFERSA. A análise se concentrou na intensidade da luz, verificando a distribuição da luminosidade e pesquisando a existência de ofuscamento, que pode afetar o conforto visual dos usuários. Os métodos de cálculos utilizados nesse estudo foram o método dos lúmens, definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e o método ponto a ponto que se baseia na lei de Lambert. Conclui-se que a análise luminotécnica é uma ferramenta importante para a promoção da eficiência energética em instituições públicas de ensino superior, como a UFERSA, contribuindo para a redução do impacto ambiental, a redução de custos e para a melhoria da qualidade de vida dos usuários.

Palavras-chave: Eficiência energética, Luminotécnico, Iluminação.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a iluminação sempre foi uma preocupação para a humanidade, especialmente em ambientes onde não há luz natural disponível. Como solução, o homem utilizou o fogo como a primeira fonte de luz artificial, descoberto acidentalmente na pré-história. Além de produzir calor, o fogo também emite luz, tornando-se uma alternativa viável para iluminar cavernas e abrigos. Com o tempo, a tecnologia evoluiu e novas fontes de luz foram criadas, como as velas e os lampiões a óleo.

Em 1851, no Brasil Irineu Evangelista de Souza, o Barão de Mauá, iniciou pelas ruas uma iluminação que era utilizada através do famoso lampião a gás. Já no fim do século XIX Thomas Alva Edison, conseguiu produzir com excelência as primeiras lâmpadas elétricas incandescentes, e a partir disso, a demanda mundial por energia elétrica passou a ser utilizada em larga escala.

Devido ao fato de que o consumo de energia elétrica está diretamente relacionado ao uso excessivo de recursos artificiais de iluminação, um sistema de iluminação superdimensionado e equipamentos que geram alto consumo resultam em elevados gastos com energia e manutenção.

Levando em consideração o aumento contínuo no consumo de energia ao longo dos anos, torna-se cada vez mais importante adotar medidas para reduzir o desperdício e melhorar a eficiência energética. Nesse contexto, a utilização de uma análise luminotécnica se mostra como uma opção viável e eficaz para alcançar esse objetivo.

De acordo com a NBR ISO/CIE 8995 “Uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permite que as pessoas vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto. A iluminação pode ser natural, artificial ou uma combinação de ambas.”

A realização desse estudo visa mostrar se um determinado ambiente está recebendo uma iluminação artificial adequada e eficiente, analisando se possui o número correto de luminárias e avaliando a distribuição da luz no espaço. O método utiliza técnicas e cálculos precisos que podem ser aplicados em diversos tipos de ambientes, tanto profissionais quanto pessoais. O objetivo principal é garantir uma iluminação adequada e confortável para os usuários, ao mesmo tempo em que se reduz o desperdício de energia elétrica e se promove uma maior eficiência energética.

Isso é especialmente importante considerando-se o aumento do consumo de energia elétrica ao longo dos anos e a necessidade de reduzir o impacto ambiental causado pelo uso excessivo de recursos energéticos. Além disso, a análise luminotécnica também pode contribuir para a redução de custos de manutenção dos sistemas de iluminação, uma vez que ajuda a identificar problemas e falhas no sistema, permitindo que sejam corrigidos antes que se tornem mais graves.

Neste estudo, foram realizadas medições nos auditórios do bloco dos professores I e bloco dos professores II do Centro Multidisciplinar de Angicos (CMA - UFERSA), com o objetivo de otimizar a iluminação e, conseqüentemente, reduzir desperdícios e controlar gastos. Para isso, foram utilizadas técnicas específicas para calcular a luminosidade necessária em um ambiente e adaptá-la às necessidades dos usuários. As medições foram realizadas em pontos estratégicos, definidos em pequenos retângulos na superfície das carteiras dos auditórios, com cálculos realizados no centro desses pontos. O objetivo principal foi determinar se a iluminação artificial nos auditórios era adequada e se o número de luminárias instaladas era suficiente para atender às necessidades dos

usuários. Com base nos resultados obtidos, foram feitas recomendações para melhorar a eficiência energética e o conforto visual nos auditórios, a fim de contribuir para a sustentabilidade e economia de energia.

2. REFERENCIAL

Ao longo do tempo, a evolução da iluminação artificial tem sido impressionante. Desde a invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison no final do século XIX, a indústria de iluminação vem avançando rapidamente. Com o surgimento de novas tecnologias e materiais, houve uma significativa melhoria na qualidade e eficiência das fontes de luz, proporcionando uma iluminação mais duradoura, econômica e sustentável.

Atualmente, existem diversas opções de lâmpadas e luminárias no mercado, como as lâmpadas LED, fluorescentes, halógenas, entre outras. A iluminação artificial é essencial em diversos ambientes, seja em residências, escritórios, comércios ou indústrias, proporcionando conforto visual e segurança. Além disso, a tecnologia atual permite que a iluminação seja controlada de forma inteligente, por meio de sistemas automatizados, sensores e reguladores de intensidade.

Segundo (Creder, 2007) a luz é o aspecto da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinado pelo estímulo da retina ocular. Diante disso, é possível definir a luz como uma forma de energia, pois ela pertence ao espectro eletromagnético, que inclui também ondas de rádio, raios X, raios infravermelhos e raios ultravioleta.

Portanto, podemos dizer que a luz é apenas energia eletromagnética visível cuja amplitude de onda sensibiliza nosso sistema visual e nos proporciona percepção e visão. Já a radiação infravermelha, embora seja outra forma de radiação eletromagnética, não é invisível aos nossos olhos e não desperta nossa sensibilidade visual, ao contrário, nos faz sentir sensação térmica na forma de calor. Como mencionado anteriormente, a luz visível faz parte do espectro da radiação eletromagnética.

O fluxo luminoso é um dos parâmetros mais importantes para se desenvolver um projeto luminotécnico, pois é responsável pela radiação total que é emitida em todas as direções de uma fonte luminosa ou também uma fonte de luz que é capaz de produzir estímulo visual. Sua unidade de medida é em Lumens (lm) no sistema internacional de unidades (NBR 8995-1, 2013) para verificar quantos lumens são emitidos por uma fonte luminosa, é necessário medir as direções onde se deseja ter essa informação, já que uma fonte luminosa nunca irradia luz uniformemente em todas as direções.

A NBR ISO 8995-1 é direcionada para ambientes de trabalho internos, e todas as novas obras e reformas devem estar adequadas à determinação. A nova norma substitui a ABNT NBR 5413 (Iluminância de interiores), com última revisão em 1992, e a ABNT NBR 5382 (Iluminação de ambientes de trabalho), que havia sido inicialmente publicada em 1977 e que se encontrava sem atualização há 28 anos (desde 1985). (ABEE-MG, 2008).

A luminância é um dos conceitos que a luminotécnica apresenta. Ela descreve a medição da quantidade de emissão de luz, que passa através ou é refletida a partir de uma superfície. É através da luminância que o homem enxerga. Antigamente era chamada de brilho, que significa que a luminância está ligada aos brilhos. Porém, existe uma diferença entre a luminância e o brilho, a luminância é uma excitação visual e é

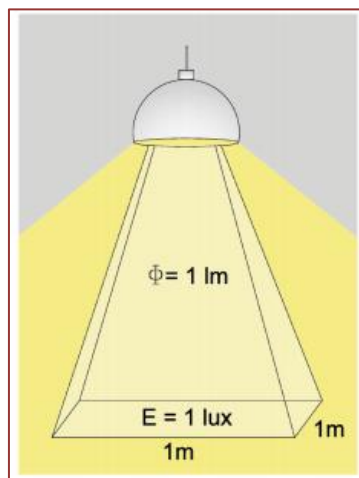
quantitativa, enquanto o brilho é a resposta visual. Sua unidade de medida é candela por metro quadrado (cd/m^2).

Luminância está ligada aos contrastes, por exemplo a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo branco (papel, refletância 85%) isso revela que a luminância das letras se torna menor do que a luminância do fundo, e sendo assim, a leitura “cansa menos os nossos olhos”.

Contudo, quando há uma certa proximidade das luminâncias, como no caso da linha de costura e do tecido, se torna mais difícil de se observar (contraste reduzido) com isso, há uma necessidade de mais luz. O efeito psicológico das luminâncias é grande no indivíduo, quando se vê e se compara luminâncias.

A iluminância é definida como a relação entre o fluxo luminoso (Φ) em lumens (lm), que descreve a luz que incide numa superfície e a superfície sobre uma determinada área. Ela é dada em Lux (lx) onde corresponde a uma unidade de iluminamento ou iluminância, sendo assim, um lúmen para cada superfície de um metro quadrado.

Figura 1 - Iluminância



Fonte: Manual de iluminação PROCEL, (2011).

De acordo com a norma NBR 8995-1 (2013), o ofuscamento é uma sensação visual intensa que pode ser causada por áreas brilhantes dentro do campo de visão, resultando em desconforto ou inabilidade visual. Esse efeito pode ser provocado por reflexos em superfícies especulares, conhecido como ofuscamento refletido ou reflexões veladoras. É essencial limitar o efeito do ofuscamento nos usuários, a fim de prevenir erros, fadiga e acidentes.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de identificar e avaliar os impactos da implementação de medidas de eficiência energética, realizou-se um estudo de caso na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA/RN). Além disso, este projeto buscou investigar a intensidade da luz nos auditórios I e II do CMA-UFERSA, avaliando sua distribuição e possíveis efeitos de ofuscamento. Para alcançar esses objetivos, foram selecionados pontos estratégicos

dentro dos auditórios para realizar medições precisas e coletar os dados necessários para a análise.

Foram utilizados métodos de cálculo baseados na Comissão Internacional de Iluminação (CIE) para medir a densidade e intensidade da luz em pontos estratégicos nos auditórios. O método dos lúmens e o método ponto a ponto baseado na Lei de Lambert foram utilizados para coletar os dados necessários para análise.

As medições foram realizadas com o auxílio de um luxímetro (Figura 2) nos auditórios do bloco de professores I e II em diferentes horários. No bloco de professores I, a medição da iluminância foi realizada em fevereiro de 2023 às 10h05, 16h00 e 18h20, permitindo a entrada de luz natural cujas as janelas de vidro estavam com as persianas recolhidas e as luzes do auditório acesas. Já no bloco de professores II, as medições foram feitas em horários distintos: pela manhã às 10h38, pela tarde às 14h00 e pela noite às 18h40.

Figura 2 - Luxímetro utilizado nas medições



Fonte: incorzul (2023).

O auditório de professores I tem uma área de 113,13 m² fica a oeste e devido a isso há uma maior incidência solar a tarde. O bloco dos professores I, é composto por um corredor central amplo e salas dos professores. O auditório fica localizado no final do corredor, possui duas janelas em cada uma das fachadas laterais, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Figura - 3 Bloco de auditório professores I



Figura - 4 Bloco de auditório professores I



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O segundo auditório, fica a leste e por este motivo, há uma maior incidência solar pela manhã, fica localizado no bloco de professores II, tem uma área de 113,13m², onde possui duas janelas em cada uma das fachadas laterais, assim como no auditório I.

Figura - 5 Bloco de auditório professores II



Figura - 6 Bloco de auditório professores II



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As luminárias utilizadas nos auditórios são de dois tipos, tubular sobreposta ao forro encontrada através de pesquisa na internet com o seguinte nome: Luminária para 2 lâmpadas LED 20w vazia 120cm sobrepor com Aletas de Alumínio 148105 – da marca Lumepetro, essa luminária se encontrava sem o vidro de proteção, que é responsável por proteger as lâmpadas de insetos e poeira. A outra foi encontrada em pesquisa pelo nome: luminária redonda *plafon new clean* 30cm, vidro teto para 2 lâmpadas.

Figura- 7 Tubular sobreposta ao forro



Fonte: Submarino.com

Figura- 8 Luminária redonda



Fonte: Google (2023).

As lâmpadas dos auditórios são de dois tipos tubular fluorescente da marca Philips e bulbo LED da marca ELGIN, conforme Quadro 1 e Anexos 1 e 2.

Quadro 1 – Informações técnicas das lâmpadas

Lâmpada	Dados elétricos	Informações gerais	Dados técnicos de luz	Aprovação e aplicação
	Consumo de energia: 16W (potência)	Tipo: Fluorescente tubular TLDRS16W CO-1	Fluxo luminoso nominal: 1070lm Designação da cor: luz natural fria Temperatura de cor correlacionada: 4100 K	Modelo: T8 Eficiência luminosa: 66,87 lm/W Conteúdo de mercúrio (Hg): 8,0mg
	Consumo de energia: 9W (potência)	Tipo: Bulbo LED	Fluxo luminoso nominal: 810lm Designação da cor: branca fria Temperatura de cor correlacionada: 6500 K	Modelo: A60 Eficiência luminosa: 90 lm/W Conteúdo de mercúrio (Hg): 0 (zero) mge não emite infravermelhos

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

No levantamento da iluminação artificial, foram coletadas as potências elétricas e as quantidades das lâmpadas usadas nos auditórios. Essa coleta foi feita no dia 8, 9 e 10 de fevereiro de 2023, e podem sofrer alterações se houver substituição de alguma lâmpada. São utilizadas duas lâmpadas por luminária, segundo o catálogo da LUMILUZ a luminária tem um rendimento de 64%. Os dados obtidos para estudo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade de lâmpadas e tipos de instalação

Auditório	Quantidade de lâmpada tubular (16W)	Quantidade de lâmpada bulbo (9W)	Quantidade de luminária por sala	Luminária tubular	Luminária tipo bulbo	Lâmpada por luminária
I	24	12	18	12	6	2
II	24	12	18	12	6	2

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

O levantamento de todas as dimensões pertinentes ao estudo da iluminação nos ambientes foi feito com o auxílio de uma trena milimétrica. Os dados obtidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões do auditório

Auditório	Largura (m)	Comprimento (m)	Altura do chão até a luminária(m)	Altura do plano de trabalho a luminária (m)
I	14	8,08	2,7	1,97
II	14	8,08	2,7	1,97

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4. ANÁLISE DOS DADOS: ESTUDO LUMINOTÉCNICO

Segundo a NBR 8995-1 (ABNT,2013), de modo geral designa-se que as análises e medições devem ser feitas na área apropriada e repetidamente em pontos específicos. O tamanho da malha é dado pela Equação 4 a seguir:

$$p = 0,2 \times 5^{\log 10^d} \quad \text{Equação 1}$$

p - é o tamanho da malha, expresso em metros (m);

d - é a maior dimensão da superfície de referência, expressa em metros (m).

O número de pontos é determinado pelo número inteiro mais próximo da relação d para p . Portanto, a malha de cálculo é subdividida em pequenos retângulos para a superfície de referência retangular, com os pontos de cálculo em seu centro, conforme a Tabela 3. Para ajustar a distribuição da malha, sugere-se alguns arredondamentos, onde o conjunto de pontos de medição foram distribuídos conforme as Figuras 11 e 12.

Tabela 3 - Parâmetros de cálculo da malha de medição

Auditório	d (m)	p	d/p	Número de pontos
I	14	$\log(14)$ $p = 0,2 \times 5^{\log 10} = 1,1461$	12.2	15
II	14	$\log(14)$ $p = 0,2 \times 5^{\log 10} = 1,1461$	12.2	15

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

O auditório I possui porta de vidro com largura de 0,75m e altura de 2,10m, já o auditório II possui porta de vidro com largura 0,80m e altura de 2,10m com janelas de vidro e também uma porta corta fogo e saída de emergência. Contam com 12 luminárias tubular composta por duas lâmpadas 16w, e 6 luminárias tipo redonda composta por duas lâmpadas (9w) cada. A altura do chão até a luminária é de 2,7m e a altura do plano de trabalho a luminária é de 1,97m. Os auditórios tem 113,13 m², tem 14m de largura e 8,08m comprimento. A distribuição dos pontos na malha de medição figuras 9 e 10.

Figura 9 - Distribuição dos pontos – Aud I **Figura 10** - Distribuição dos pontos – Aud II



Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A planta das luminárias do auditório I e II, estão representadas nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Planta das luminárias auditório I

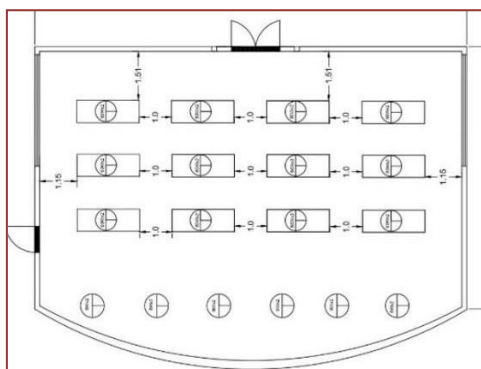
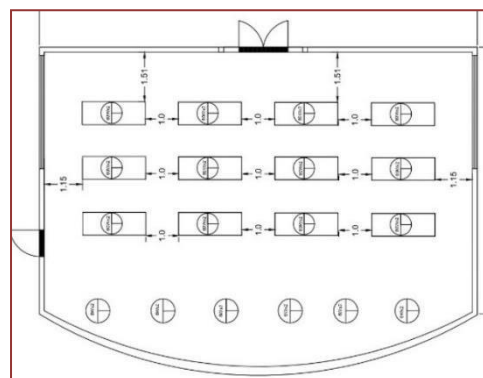


Figura 12 - Planta das luminárias auditório II



Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4.1. COLETA DAS ILUMINÂNCIAS

A medição da iluminação foi realizada nos dias 8, 9 e 10 de fevereiro de 2023, às 10h05 da manhã e às 16h00 da tarde no auditório I, já no auditório II, foram realizadas às 10h38 da manhã e pela tarde às 14h00, respectivamente. As medições no horário da manhã e tarde aconteceram com todas as luzes apagadas e as persianas ficaram abertas para proporcionar a iluminância fornecida pela fonte de luz natural. As medições à noite foram feitas no auditório I às 18h20 e no auditório II às 18h40 do dia 10 de fevereiro de 2023. As medição artificial estão presente nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Medições de lux da iluminação artificial - Auditório I

Pontos	Lux		
	Manhã	Tarde	Noite
1	650	626	353
2	810	624	580
3	755	664	641
4	624	591	561
5	690	599	557
6	618	536	504
7	540	546	513
8	731	718	687
9	625	598	577
10	450	408	390
11	425	394	382
12	435	419	405
13	430	409	392
14	413	370	350
15	410	369	359

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Tabela 5 - Medições de lux da iluminação artificial - Auditório II

Pontos	Lux		
	Manhã	Tarde	Noite
1	458	612	696
2	670	678	265
3	573	575	478
4	650	637	712
5	508	494	531
6	469	485	213
7	651	630	406
8	659	663	527
9	702	686	670
10	587	487	607
11	300	300	285
12	368	325	311
13	360	366	380
14	357	375	354
15	311	350	318

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A média aritmética dos valores obtidos para cada ponto de medição natural estão presente nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Medições de lux da iluminação natural - Auditório I

Pontos	Lux	
	Manhã	Tarde
1	115	40
2	110	53
3	54	35
4	74	16
5	153	20
6	45	30
7	61	31
8	48	33
9	39	9
10	37	11
11	425	12
12	435	11
13	430	11
14	413	40
15	410	53

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Tabela 7 - Medições de lux da iluminação natural- Auditório II

Pontos	Lux	
	Manhã	Tarde
1	323	285
2	81	78
3	37	55
4	114	86
5	60	93
6	219	210
7	114	115
8	65	63
9	80	65
10	124	97
11	13	22
12	14	22
13	14	24
14	11	22
15	12	19

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

4.2. MÉTODO DOS LÚMENS

Para obter um estudo luminotécnico mais aprofundado nos auditórios, foi realizado o método dos lumens. Segundo (Creder, 2007) o método dos lumens consiste em determinar o fluxo luminoso total (Φ), e posteriormente, pode-se determinar o número de luminárias de um determinado local em função do nível de iluminância que se deseja ter no ambiente. A quantidade de luminárias desse método pode ser obtido a partir das seguintes equação:

$$\Phi = \frac{S \times E_m}{U \times d} \quad \text{Equação 2}$$

$$n = \frac{\Phi}{\varphi} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Φ - fluxo luminoso total, em lumens;

E_m - nível de iluminância mantida, em luxes;

S - área do recinto, em metros quadrados;

U - fator de utilização ou coeficiente de utilização;

d - fator de depreciação ou de manutenção;

n - número de luminárias;

φ - fluxo por luminárias, em lumens.

O nível de iluminância mantida em luxes, pode ser alcançado através dos requisitos para o planejamento da iluminação da NBR 8995-1/2013 onde a norma afirma que a iluminância mantida mínima para salas de aula e auditórios é de ($E_m = 500$ lux).

O coeficiente de utilização é o coeficiente que relaciona o fluxo luminoso inicial emitido através da luminária (fluxo total) e o fluxo recebido no plano de trabalho (fluxo útil), devido a isso, o coeficiente depende das dimensões do local, da cor do teto, das

paredes e do acabamento das luminárias (Creder, 2007). Para obter este coeficiente, pode-se verificar o catálogo da luminária ou através da equação 4.

$$U = K \times N \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

U - Coeficiente de utilização;

K - Índice do local.

N - eficiência da luminária

$$K = \frac{c \times l}{hm(c+l)} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

c - Comprimento do local;

l - Largura do local;

K - Índice do local

hm - Altura de montagem da luminária.

Dessa forma, os valores do índice local está representado na Tabela a seguir:

Tabela 8 - Índice do Local para os auditórios analisadas

Auditório	K
I	1,89
II	1,89

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

A eficiência da luminária pode ser obtido pelo catálogo LUMILUZ, onde é informado que a luminária de sobrepor ao forro tem uma eficiência de 64%. Assim, com todos os parâmetros é possível obter (com a equação 4) o coeficiente de utilização de acordo com cada especificação de cada leiaute, representado pela tabela 9.

Tabela 9 - Coeficiente de utilização dos auditórios analisados

Auditório	U
I	1.2096
II	1.2096

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Após encontrar o coeficiente de utilização, é preciso encontrar o fator de depreciação. De acordo com Creder (2007), O fator de depreciação, relaciona o fluxo emitido no fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma, e pode ser obtido pela equação 6.

$$MF = FMLF \times FSL \times FML \times FMSS \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

FMLF - Considera a depreciação do fluxo luminoso da fonte luminosa;

FSL - Considera o efeito de falha por envelhecimento da lâmpada;

FMSS - Considera a redução da reflectância devido à deposição de sujeira nas superfícies do recinto;

FML - Considera os efeitos de redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas luminárias.

Na NBR 8995-1/2013 é fornecido uma tabela com os fatores de depreciação indicados para lâmpadas fluorescentes. Para as lâmpadas de LED, o catálogo da LUMILUZ iluminação indica os fatores de depreciação (d) para as fontes luminosas de LED como: Limpo: 0,80 - Médio: 0,70 - Sujo: 0,60. De acordo com o observado na nas salas e nas luminárias contidas, foi adotado o fator de depreciação de $d = 0,70$.

O fluxo por luminária em lumens (φ) é obtido pela soma do fluxo luminoso nominal de duas lâmpadas, ou seja: $2 \times 1070 \text{ lm} = 2.140 \text{ lm}$, conforme o anexo II.

O fluxo da luminária tipo bulbo é de $2 \times 810 \text{ lm} = 1.620 \text{ lm}$, conforme o anexo I, ou seja somando as duas $2.140 + 1.620 = 3.760$. Diante dos valores das iluminâncias mantidas, áreas dos recintos, coeficiente de utilização, fatores de depreciação, e fluxo por luminárias obtidos, pode-se realizar o método dos lumens e encontrar os valores dos fluxos luminosos total e o número de luminárias.

Os valores encontrados pelo método dos lumens (utilizando as equações 2 e 3) estão representados na Tabela 10.

Tabela 10 - Fluxo total por ambiente

Auditório	Área (m ²)	E (lux)	U	d	Φ (lm)	φ (lm)	n° Luminárias	n° Luminárias Proposta
I	113,13	500	1.2096	0,70	66.804	3.760	17,8	18
II	113,13	500	1.2096	0,70	66.804	3.760	17,8	18

Fonte: Adaptado pelos autores (2023).

Diante dos números de luminárias que foram obtidos através da Tabela 9, realizou-se um arredondamento para mais, para proporcionar uma distribuição mais uniforme, para a instalação das luminárias e os fluxos luminosos. Assim, o número de luminárias propostas para os auditórios foi de 18.

4.3. MÉTODO PONTO A PONTO

O método ponto a ponto é utilizado para calcular a iluminância do ambiente, levando em conta a posição de cada luminária, e a influência na iluminação do espaço. Esse método é uma das formas mais precisas de determinar a quantidade de luminárias necessárias para garantir a iluminação adequada em um ambiente. É realizado utilizando as seguintes equações:

$$N = \frac{Emed \times A}{n \times \varphi n \times U \times FM \times FFL} \quad \text{Equação 7}$$

$$Emed = \frac{N \times n \times \varphi n \times U \times FM \times FFL}{A} \quad \text{Equação 8}$$

N: número necessário de luminárias (tabela 10)

Emed: iluminância média (lux) =

A: área do ambiente (m²)= 113,13m² (tabela 10)

n: número de lâmpadas em cada luminária: 2 (tabela 1)

φn : fluxo luminoso de cada lâmpada (lm): tubular 1070 lm, bulbo 810 lm (quadro 1)

U: fator de utilização: 0,70

FM: fator de manutenção ou depreciação: 0,70 (tabela 10)

FFL: fator de fluxo luminoso do reator: 1.0

$$N = \frac{135,14 \times 113,13}{2 \times 1.070 \times 810 \times 0,70 \times 0,70 \times 1,0} = 18$$

$$Emed = \frac{18 \times 2 \times 1.070 \times 810 \times 0,70 \times 0,70 \times 1,0}{113,13} = 135,14$$

5. CONCLUSÃO

O estudo realizado nos auditórios dos blocos de professores I e II do Centro Multidisciplinar de Angicos/RN (CMA - UFERSA), buscou identificar os benefícios do uso de medidas de eficiência energética aplicáveis ao sistema de iluminação. De maneira geral, o sistema de iluminação dos auditórios mostrou condições adequadas para atender aos requisitos mínimos de iluminância exigidos pela NBR 8995-1.

De acordo com as medições, ficou claro o potencial de aproveitamento da luz natural. Foi visto de acordo com os cálculos realizados, que o número de luminárias e lâmpadas estão de acordo com o adequado.

Com esse estudo também foi possível notar que é necessário um dimensionamento mais adequado e realizar uma reforma no auditório do bloco dos professores II, pois o mesmo se encontra com um lado do teto faltando o material lã de vidro, e algumas das lâmpadas com mau funcionamento. Também foi visto que as persianas do auditório do bloco de professores I e do bloco de professores II, se encontram quebradas, o que afetaram as medições dos níveis de lux.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.
- [2] COSTA, G.J.C. Iluminação econômica: cálculo e avaliação. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 576 p.

- [3] DUTRA, L.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, R.O.F. Eficiência energética na arquitetura. 3. ed. São Paulo: ProLivros, 2014.
- [4] G-LIGHT. Diferença entre as lâmpadas de LED, as incandescentes e as fluorescentes: Lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de LED. 2019. Disponível em: <https://www.g-light.com.br/diferenca-entre-as-lampadas-de-led-as-incandescentes-e-as-fluorescentes/>. Acesso em: 13 out. 2022.
- [5] GRUPO INTRAL. Iluminação Inteligente. Especificações técnicas luminária OS-122. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/produtos/#luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminarias-para-lampadas-tubo-led/luminaria-os-122>. Acesso em: 01 abr. 2022.
- [6] LEDVANCE. Cálculo luminotécnico | método simplificado. Disponível em: <https://dammedia.ledvance.info/media/img/asset13981833/downloads/eBook%C3%A1culo%20Luminot%C3%A9cnico%20M%C3%A9todo%20Simplificado.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.
- [7] OLIVEIRA, Pedro Eugênio Nogueira. Análise e proposta de melhorias na eficiência energética destinada à iluminação: um estudo de caso do bloco de aulas 2 da UFERSA –Campus Angicos/RN. 2020. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos/RN, 2020.
- [8] OSRAM. Manual luminotécnico prático: Limitação de ofuscamento. [S.l.]: OSRAM, [s.d.]. Disponível em: <https://www.osram.com/ds/tools-and-services/documents/lighting-design-guides.jsp>. Acesso em: [10 out. 2022].

Capítulo 3

Simuladores de circuitos elétricos: combinação para uma maior eficácia no ensino-aprendizagem

Frederico Silveira Madani

Daniela Albuquerque Moreira Madani

Fernando Silveira Madani

Joares Lidovino dos Reis Junior

Cristiano Roberto Martins Foli

Eduardo Mikio Konigame

Resumo: As simulações computacionais são instrumentos importantes no processo de ensino-aprendizagem de circuitos elétricos. Elas podem constituir um elo entre os conceitos teóricos-matemáticos e a experiência prática. Nesse trabalho pesquisamos a percepção de alunos de Engenharia Elétrica com relação ao uso de dois simuladores livres para circuitos elétricos: *Phet* e *TinkerCad*. Nossos resultados mostram que para uma melhor eficácia no processo de aprendizagem é indicado o uso combinado e ordenado desses simuladores. Em uma primeira etapa, sugerimos usar o simulador *Phet* o qual proporciona uma abordagem mais conceitual e geral. Na sequência, sugerimos usar o simulador *TinkerCad* que possibilita um maior detalhamento dos conceitos de circuitos elétricos e, permite uma experiência de uso mais próxima com a realidade prática.

Palavras-chave: Simuladores, Circuitos Elétricos, Ensino em Engenharia.

1. INTRODUÇÃO

A importância de atividades experimentais no ensino de ciências e especificamente, na área de Engenharia é discutida a aproximadamente 300 anos (BORGES, 2002) (BARBERÁ & VALDÉS, 1996).

No entanto, apesar de não ser a solução para todos os problemas no ensino-aprendizagem na área de engenharia (GALIAZZI, ROCHA, SCHMITZ, & SOUZA, 2001) as atividades experimentais constituem um importante auxílio para a compreensão de conceitos.

No ano de 2018 foi proposto pela ABENGE o documento: Inovação na Educação em Engenharia – Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Engenharia (ABENGE, 2018) o qual, entre várias propostas de competências a serem desenvolvidas em um curso de Engenharia, tem-se no segundo item: *“Analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos matemáticos, computacionais ou físicos, validados por experimentação”*.

Nesse mesmo documento, também há a citação de propostas de estratégias e métodos a serem implantados pelas IES (Instituições de Ensino Superior), cita-se: *“Processos de ensino / aprendizagem que contemplem métodos, técnicas e meios, sejam estes presenciais, remotos ou virtuais”*.

Assim, diante desses pontos colocados, entendemos a relevância de atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem em Engenharia.

No entanto, compreendemos que é necessário um vínculo entre conceitos teóricos-matemáticos e atividades práticas. Esse vínculo pode ser realizado através da simulação computacional (DORNELES & ARAUJO, 2012) e (RONEN & ELIAHU, 2000).

Nesse trabalho, pesquisamos o uso de dois simuladores computacionais: *PhET Interactive Simulations* (PHET, 2021) e *TinkerCad* (TinkerCad, 2021) para o estudo de circuitos elétricos.

O alvo da pesquisa foram 30 alunos do 3º ano de Engenharia, da modalidade elétrica. Parte desses alunos já possuíam uma vivência prática profissional na área.

Assim, através da percepção desse grupo sobre o uso desses simuladores propomos uma abordagem que possa ser usada como um vínculo entre teoria e prática.

2. METODOLOGIA

Nesse trabalho nos guiamos pela proposta de Ausubel (AUSUBEL, 2003) que indica que os conceitos mais gerais da matéria de ensino, circuitos elétricos nesse estudo, deve ser primeiramente apresentado e, na sequência os detalhes e pormenores serem especificados.

Para Ausubel a organização de um conteúdo na mente de um aluno é uma estrutura hierárquica a qual as ideias mais gerais estão no nível superior e, de forma progressiva, conceitos mais diferenciados são acrescentados (DORNELES & ARAUJO, 2012).

Dentro dessa abordagem a metodologia adotada nesse estudo consistia em:

- Explicação teórica dos assuntos a serem abordados, com a escolha de circuitos elétricos resistivos em série e em paralelo (ALEXANDER & SADIKU, 2013) (CAPUANO & MARINO, 2002);

- Implementação das simulações através do *Phet* e do *TinkerCad*;
- Resposta a um questionário sobre a percepção, baseada na experiência de aprendizagem, do uso dos dois simuladores.

2.1. SIMULADORES

O Phet (PHET, 2021) é uma plataforma proposta pelo prêmio Nobel de Física Carl Wieman em conjunto com a Universidade do Colorado. Este portal disponibiliza um grupo de simulações que ajudam no ensino-aprendizagem de diversas ciências, inclusive Física e consequentemente Engenharia.

Essas simulações, muitas das vezes, são como laboratórios virtuais que permitem ao usuário relacionar conceitos teóricos com situações reais. O *Phet* é disponibilizado na Internet e pode ser usado de forma livre.

Essa plataforma de simulação pode ser acessada diretamente pela página da internet (ZARA, 2011) ou, caso o usuário queira, é possível instalar um aplicativo, inclusive para celulares.

Para esse trabalho usamos a simulação *Circuit Construction Kit* inserida na plataforma para a disciplina de Física.

O outro simulador usado em nossa pesquisa foi o TinkerCad (TinkerCad, 2021) que é uma ferramenta online de projetos de modelos 3D em Cad e, que também permite a simulação de circuitos elétricos: analógicos e digitais. O TinkerCad foi desenvolvido pela Autodesk e, também pode ser usado de forma livre.

Para usar o TinkerCad no menu Circuitos é necessário que os alunos compreendam as formas de conexões elétricas do *protoboard* que é uma matriz de contato com furos de conexões condutoras. A grande vantagem de se utilizar o protoboard na prática é a facilidade de confecção do circuito uma vez que não é necessário a soldagem de componentes elétricos.

2.2. ATIVIDADES PROPOSTAS PARA OS SIMULADORES

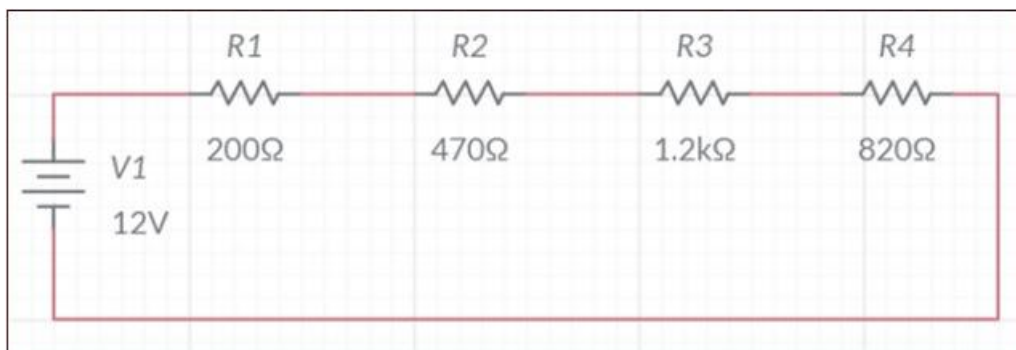
Após a explicação dos conceitos teóricos, foram propostos dois circuitos elétricos para serem simulados pelos alunos. Para cada um dos simuladores foram fornecidas sugestões de montagem.

Essas atividades tinham como objetivos:

- Verificar os conceitos relacionados a circuitos elétricos em série e em paralelo,
- Fornecer ao aluno uma visão do uso dos dois simuladores e,
- Quantificar a contribuição desses simuladores no processo de ensinoaprendizagem.

O primeiro conjunto de simulações consiste no estudo de um circuito elétrico em série. O diagrama elétrico desse circuito pode ser visto na Figura 1.

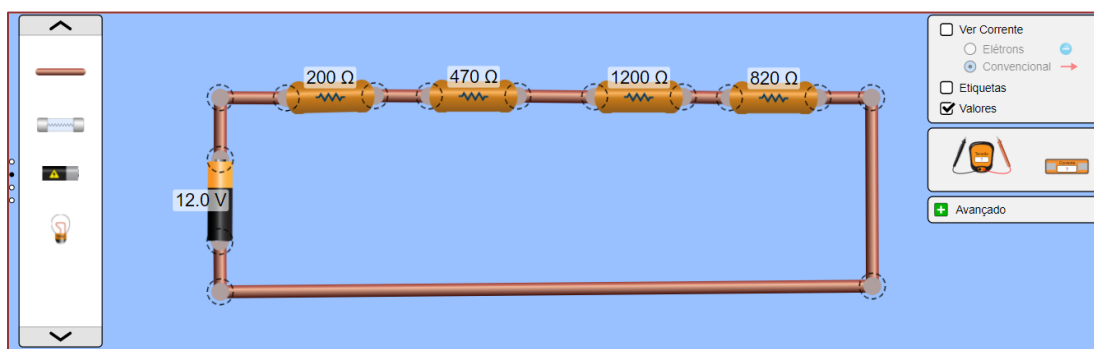
Figura 1. Circuito Elétrico em série



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

A sugestão para a simulação desse circuito no *Phet* foi construída de acordo com a Figura 2.

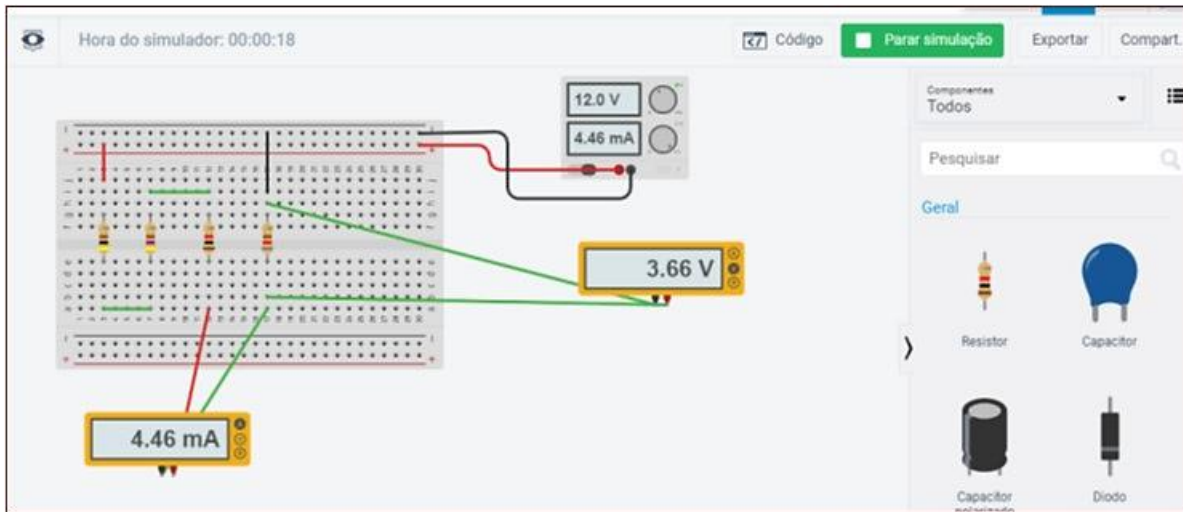
Figura 2. Sugestão de montagem do circuito em série no *Phet*



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

A sugestão para a simulação desse circuito no *TinkerCad* foi construída de acordo com a Figura 3.

Figura 3. Sugestão de montagem do circuito em série no *TinkerCad*



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

Após a confecção dos circuitos nos dois simuladores, foi pedido aos alunos que medissem a intensidade de corrente elétrica, a tensão em cada elemento e preenchessem a Tabela 1 abaixo. Assim, poderiam verificar duas características elétricas fundamentais nesse tipo de circuito elétrico (ALEXANDER & SADIKU, 2013) (CAPUANO & MARINO, 2002):

- A intensidade de corrente elétrica é a igual para todos os elementos em série e,
- A soma das tensões elétricas dos elementos em série é equivalente a tensão do gerador.

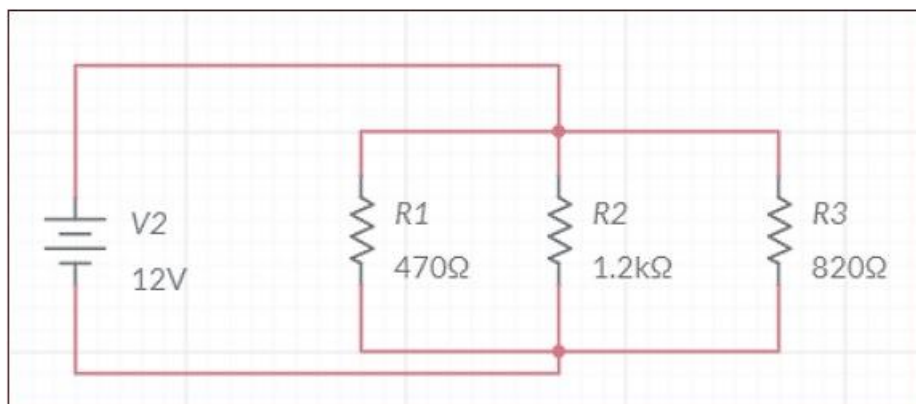
Tabela 1. Medidas elétricas do circuito em série realizada nos simuladores

I_{R1} (A)	I_{R2} (A)	I_{R3} (A)	I_{R4} (A)	I_T (A)
R(Ω)	200	470	1200	820
V(V)				

Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

O segundo conjunto de simulações consiste no estudo de um circuito elétrico em paralelo. O diagrama elétrico desse circuito pode ser visto na Figura 4.

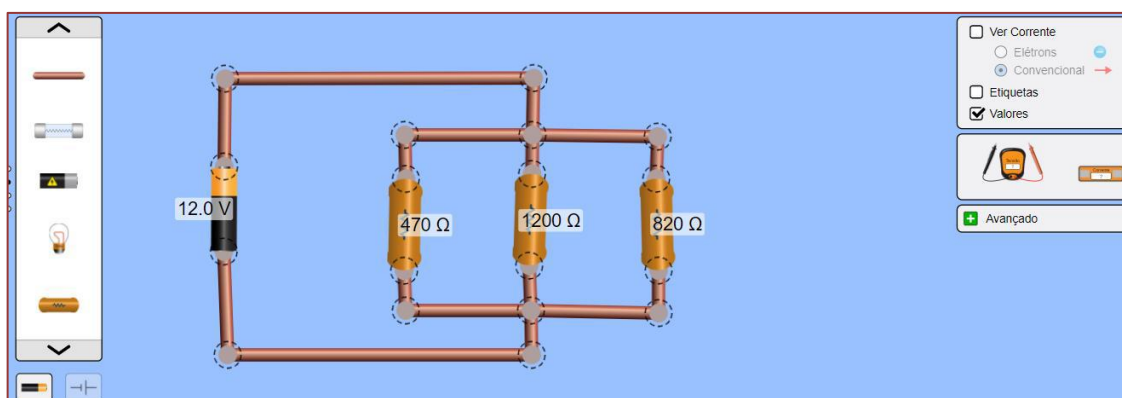
Figura 4. Circuito Elétrico em paralelo



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

A sugestão para a simulação desse circuito no *Phet* foi construída de acordo com a Figura 5.

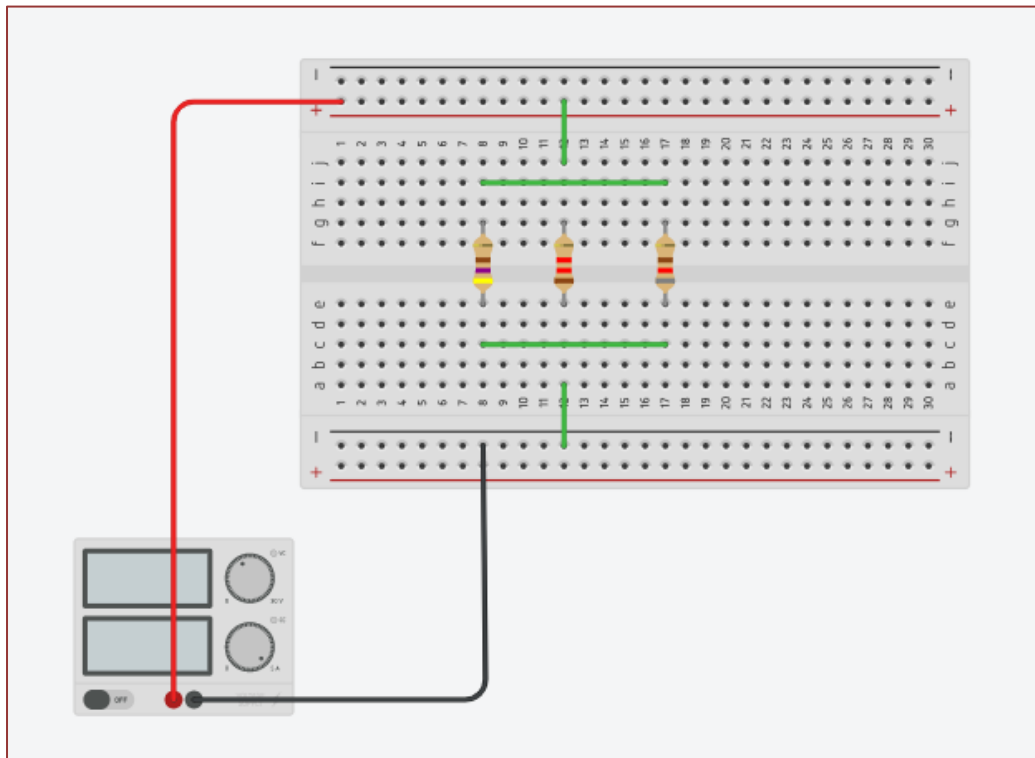
Figura 5. Sugestão de montagem do circuito em paralelo no *Phet*



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

A sugestão para a simulação desse circuito no *TinkerCad* foi construída de acordo com a Figura 6.

Figura 6. Sugestão de montagem do circuito em série no *TinkerCad*



Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

Após a criação desse circuito resistivo em paralelo nos dois simuladores, foi requerido aos alunos que medissem a intensidade de corrente elétrica, a tensão elétrica em cada resistor e que preenchessem a Tabela 2. Logo, poderiam verificar as duas características elétricas fundamentais nesse tipo de circuito elétrico (ALEXANDER & SADIKU, 2013) (CAPUANO & MARINO, 2002):

- A soma da intensidade da corrente elétrica em cada elemento é igual a corrente fornecida pelo gerador e,
- A tensão elétrica é a mesma em cada resistor.

Tabela 2. Medidas elétricas do circuito em paralelo realizada nos simuladores

I_{R1} (A)	I_{R2} (A)	I_{R3} (A)	I_{R4} (A)	I_T (A)
R(Ω)	200	470	1200	820
V(V)				

Fonte: Autores baseado em (CAPUANO & MARINO, 2002).

Após realizarem as simulações os alunos responderam a um questionário que buscava quantificar a percepção quanto ao uso desses simuladores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentamos a seguir os resultados da percepção dos alunos com relação ao uso dos dois simuladores de circuitos elétricos.

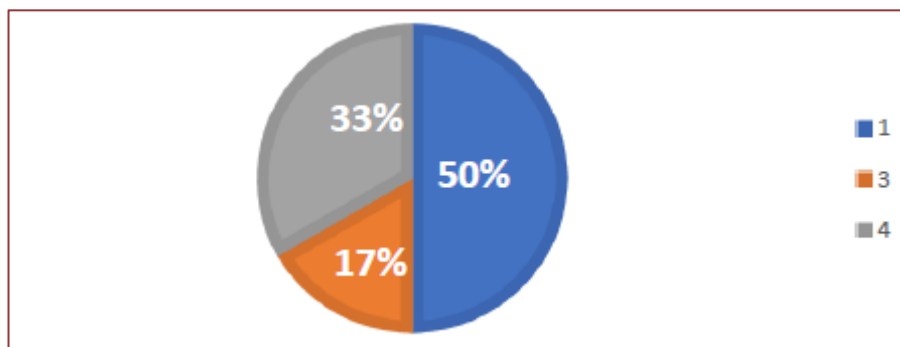
O objetivo das duas primeiras perguntas era obter a percepção dos alunos com relação a dificuldade (facilidade) em usar os dois simuladores.

A primeira pergunta do questionário foi: “Você achou o simulador *Phet* – circuitos elétricos muito difícil de ser usado? Use a escala: considere 5, como muito difícil e 1 como muito fácil.”

A segunda pergunta do questionário foi: “Você achou o simulador *Tinkercad* usado para circuitos elétricos muito difícil de ser usado? Use a escala; considere 5, como muito difícil e 1 como muito fácil”.

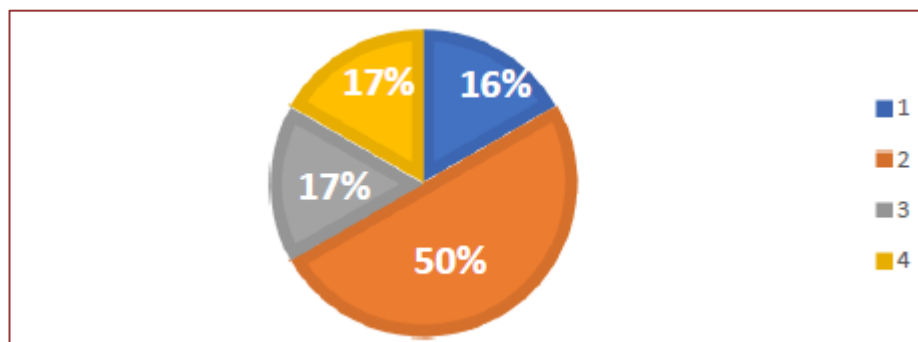
O padrão de respostas para a primeira pergunta é apresentado no Gráfico 1 e, para a segunda pergunta no Gráfico 2.

Gráfico 1. Resultados para a primeira pergunta



Fonte: Autores.

Gráfico 2. Resultados para a segunda pergunta.



Fonte: Autores.

De acordo com o percentual de respostas mostrado nas Figuras 7 e 8 e, considerando para a escala adotada que os valores 1 e 2 são “fáceis” (pouco difíceis), podemos afirmar que os dois simuladores são considerados de uso simples pelos alunos.

Essa característica é importante dentro do processo de ensino-aprendizagem por permitir que durante as atividades os alunos fiquem focados nos conceitos trabalhados.

O objetivo da terceira e quarta perguntas era obter a percepção dos alunos com relação ao auxílio em relação ao processo de aprendizagem dos conceitos de circuitos elétricos.

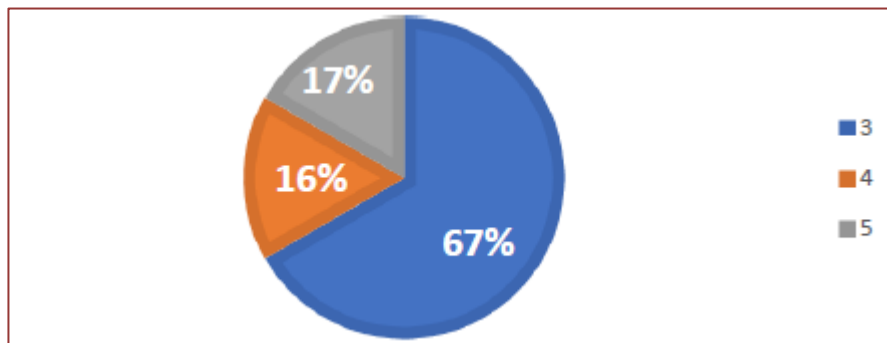
Esse conjunto de perguntas torna-se relevante uma vez que 60% alunos que responderam ao questionário possuem uma vivência profissional na área de circuitos elétricos.

A terceira pergunta e quarta pergunta do questionário foram respectivamente:

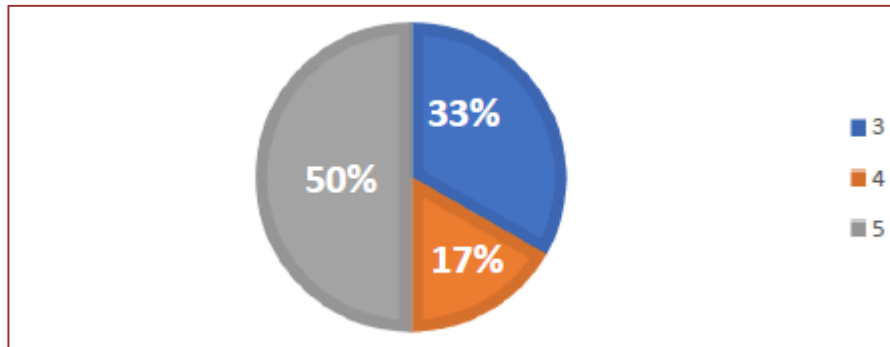
- “Você considera, baseado em sua experiência prática de circuitos elétricos que o simulador *Phet* auxilia o aprendizado dos conceitos relacionados a circuitos elétricos? Use a escala: considere 5 como ajuda muito e 1 como ajuda pouco”.
- “Você considera, baseado em sua experiência prática de circuitos elétricos, que o simulador *Tinkercad* auxilia o aprendizado dos conceitos relacionados a circuitos elétricos? Use a escala: considere 5 como ajuda muito e 1 como ajuda pouco”.

O padrão de respostas para essas perguntas é apresentado nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3. Resultados para a terceira pergunta



Fonte: Autores

Gráfico 4. Resultados para a quarta pergunta

Fonte: Autores

Consideramos que os níveis 4 e 5 significam que os simuladores ajudam muito. Assim, analisando os resultados obtidos nos Gráficos 3 e 4, podemos afirmar que os alunos compreendem que os simuladores ajudam no processo de aprendizagem.

No entanto, existe uma diferença entre os *TinkerCad* em relação ao *Phet*. Para os alunos pesquisados o *TinkerCad* apresenta um percentual de 67% que consideram o seu uso proveitoso na aprendizagem. Mas, o percentual para o *Phet* é de 33%.

Entendemos que essa diferença está relacionada ao fato de 60% do alunos já terem uma vivência profissional na área de circuitos elétricos e, o *TinkerCad* possuir uma interface mais próxima da prática real.

O próximo conjunto de perguntas teve como objetivo medir a percepção dos alunos para o quanto os dois simuladores aproximam da prática em termos reais.

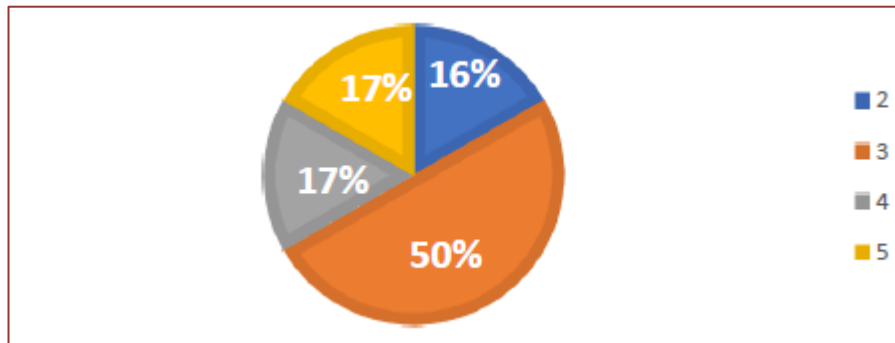
Ressaltamos o fato que 60% dos alunos que responderam ao questionário já possuem uma prática real profissional em termos de circuitos elétricos.

A quinta pergunta do questionário foi: “*Você considera que o simulador Phet para circuitos elétricos, proporciona uma experiência de aprendizagem prática próxima ao real? Use a escala: considere 5 como muito próxima e 1 como distante*”.

A última (sexta) pergunta do questionário foi: “*Você considera que o simulador Tinkercad para circuitos elétricos, proporciona uma experiência de aprendizagem prática próxima ao real? Considere 5 como muito próxima e 1 como distante*”.

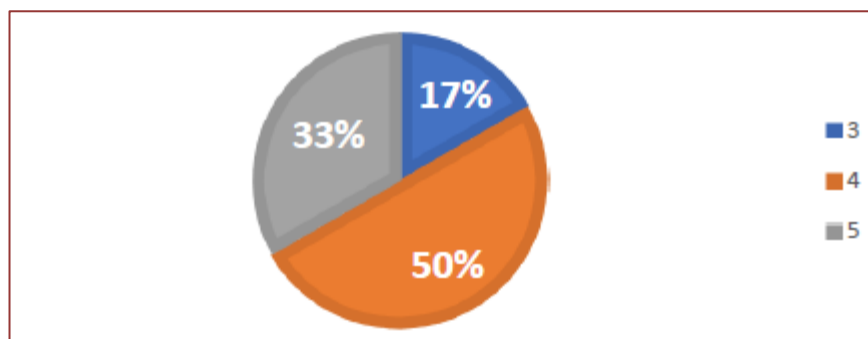
O percentual de respostas a essas perguntas é apresentado nos Gráfico 5 e 6.

Gráfico 5. Resultados para a quinta pergunta



Fonte: Autores.

Gráfico 6. Resultados para a sexta pergunta



Fonte: Autores.

Considerando os níveis 4 e 5 como próximos ao real, os Gráficos 5 (para o *Phet*) e 6 (para o *TinkerCad*) apresentam resultados distintos.

De acordo com a Figura 11, para 34% dos alunos o simulador *Phet* apresenta uma experiência próxima do real.

Esse resultado está provavelmente relacionado a interface gráfica do simulador. Apesar dessa interface ser de fácil uso (Gráfico 1) e auxiliar na aprendizagem de conceitos de circuitos elétricos (Gráfico 3), ela não permite uma experiência próxima do real no sentido de “não simular” em termos práticos a confecção de um circuito elétrico.

No entanto, de acordo com a Gráfico 6, para 83% dos alunos, o simulador *TinkerCad* possibilita uma experiência próxima ao real.

Como 60% dos alunos tinham uma experiência prática de circuitos elétricos, que está relacionada a montagem em protoboard, para esses alunos o *TinkerCad* possibilita uma interface gráfica que “simula” em termos práticos a confecção de um circuito elétrico.

4. CONCLUSÕES

As atividades práticas são fundamentais no processo de ensino-aprendizagem na área de Engenharia.

No entanto, as simulações podem também ser um recurso valioso nesse processo.

Nossos resultados indicam que os dois simuladores pesquisados (*Phet* e *TinkerCad*) contribuem para o processo de aprendizagem na área de circuitos elétricos.

Nossa pesquisa indicou que o *TinkerCad* possibilita uma aprendizagem mais próxima do real quando comparada com o *Phet*.

Assim, baseado em nossos resultados, concluímos que para uma maior eficácia do uso de simuladores para circuitos elétricos seria interessante estabelecer uma ordem de uso.

Para uma primeira abordagem dos conceitos de circuitos elétricos, o simulador *Phet* seria o adequado. Esse simulador, de uso simples, pode auxiliar a compreensão de conceitos mais gerais.

No entanto, para uma abordagem mais detalhada, o *TinkerCad* torna-se o mais adequado. Isso se deve ao fato que esse simulador permite uma experiência mais próxima da prática real para o aluno.

Assim, ao invés de escolher usar apenas um dos simuladores, indicamos o uso combinado e organizado para proporcionar uma maior eficácia no processo de ensinoaprendizagem.

Esse uso combinado dos dois simuladores podem ser uma vínculo entre os conceitos teóricos-matemáticos de circuitos elétricos e a experiência prática real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos do 3 ano de Engenharia, na modalidade Elétrica, por terem participado nessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] ABENGE. (2018). *Inovação na Educação em Engenharia – Proposta de Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Engenharia*. Brasília.
- [2] Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. (2013). *Fundamentos de Circuitos Elétricos* (5 ed.). New York: The McGraw-Hill Companies.
- [3] AUSUBEL, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano.
- [4] BORGES, A. T. (2002). *Cad. Bras. Ens. Fís.*, p. 291.
- [5] CAPUANO, F., & MARINO, M. (2002). *Laboratório de eletricidade e Eletrônica*. São Paulo: Érica.
- [6] Dorneles, P. F., & Araujo, I. S. (2012). *Ciência & Educação*, 18, p. 99.
- [7] GALIAZZI, M., ROCHA, J., SCHMITZ, L., & SOUZA, M. (2001). *Ciência & Educação*, 7, p. 249.
- [8] O. Barberá e P. Valdés. (1996). *Enseñanza de las Ciencias*, 14, p. 365.
- [9] Phet. (2021). https://phet.colorado.edu/pt_BR/. Fonte: PhET - Physics Educational Technology.
- [10] RONEN, M., & ELIAHU, E. (2000). *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, p. 14.
- [11] TinkerCad. (2021). <https://www.tinkercad.com/teach>. Fonte: AutoDesk TinkerCad - .
- [12] Zara, R. A. (2011). Reflexão sobre a eficácia do uso de um ambiente virtual no. *II ENINED - Encontro Nacional de Informática e Educação*. Cascável, Pr.

Capítulo 4

Os desafios tecnológicos e de desenvolvimento dos campos de petróleo do Pré-sal com alto teor de CO₂

*Emilaine Maria de Souza Rangel Soares
Geraldo de Souza Ferreira*

Resumo: A descoberta dos reservatórios de petróleo na camada Pré-sal, na bacia de Santos, trouxe inúmeros desafios para a Petrobras, no que diz respeito à produção de petróleo na região. Dentre esses desafios, o alto teor de dióxido de carbono (CO₂) presente nos reservatórios tornou-se um dos obstáculos mais desafiadores, especialmente nos campos de maior produção, tanto no que diz respeito à separação do dióxido de carbono dos hidrocarbonetos, quanto à necessidade de injeção do CO₂ produzido, por ele ser um gás que contribui para ampliar o efeito estufa. Além disso, o CO₂ dissolvido acidifica os fluidos produzidos aumentando a corrosão dos equipamentos e tubulações. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar as principais dificuldades operacionais de produzir no Pré-sal, causadas pela presença de CO₂, e identificar as correspondentes soluções tecnológicas desenvolvidas para superar os desafios.

Palavras-Chaves: Pré-sal, Produção, Desafios, CO₂, Petrobras.

1. INTRODUÇÃO

Em 2006, uma nova revelação impactou profundamente a indústria petrolífera nacional. Nesse ano, a Petrobras divulgou a descoberta de reservatórios com quantidades significativas de óleo e gás de boa qualidade, com alto grau API¹, localizados em uma região abaixo da camada de sal, chamada de pré-sal, no litoral do estado de Santa Catarina até ao Espírito Santo.

A descoberta de petróleo e gás na camada pré-sal foi um marco na indústria mundial do setor, sendo a maior descoberta de hidrocarbonetos nos últimos 30 anos, e tornou-se muito importante para o desenvolvimento do Brasil. No entanto, essas explorações apresentam novos desafios e problemas operacionais e tecnológicos, devido às altas profundidades, elevadas pressões e temperaturas, movimento do sal, distância da costa, presença de gás carbônico CO₂ e especificidades dos reservatórios de hidrocarbonetos.

O objetivo deste trabalho é apresentar e sistematizar as dificuldades observadas durante a produção de petróleo e gás natural nos campos do pré-sal, causadas pelo excesso de CO₂ contido nas reservas e analisar quais as metodologias utilizadas e tecnologias implementadas pela indústria de petróleo para minimizar essas adversidades.

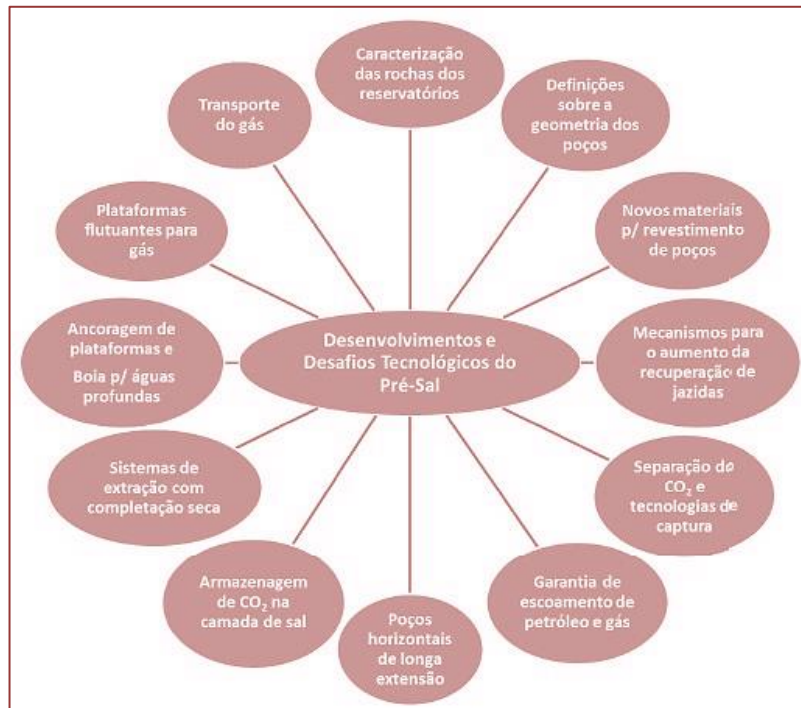
2. DESAFIOS

Com a crescente exploração das jazidas de petróleo na camada do pré-sal, novos estudos passaram a apontar as dificuldades com as quais as empresas produtoras de petróleo e gás natural passariam a lidar.

A Figura 1 mostra os desenvolvimentos necessários a serem feitos e os desafios tecnológicos do pré-sal, conforme o trabalho de Moraes (2013), relacionados a: reservatórios, características e projetos dos poços, condições de produção, estruturas de produção, separação e armazenagem de CO₂ e transporte de gás.

Um dos tópicos abordados pelo autor é a necessidade de conhecer e caracterizar em detalhes as rochas calcáreas que abrigam as jazidas de hidrocarbonetos. Esse é um problema importante porque as rochas são heterogêneas e sua estrutura determina a geometria espacial dos caminhos de fluxo dos fluidos no interior dos reservatórios. Conhecer os caminhos de fluxo dos hidrocarbonetos permite gerenciar e tomar decisões com relação às estratégias de maximização da produção de petróleo e gás, durante a vida útil dos empreendimentos, escolhendo os melhores mecanismos para o aumento de recuperação dos fluidos de interesse presentes nas jazidas.

¹ Grau API é uma medida da densidade de petróleo líquido estabelecida pelo *American Petroleum Institute* (API) para melhor identificação comercial dos diferentes tipos de petróleo. No Brasil, o Regulamento Técnico de Reservas de Petróleo e Gás Natural, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estabelece a seguinte classificação: Petróleo leve: °API ≥ 31,1; Petróleo mediano: 22,3 ≤ °API < 31,1; Petróleo pesado: 10 < °API < 22; Petróleo extrapesado: °API < 10°. (DICIONÁRIO DO PETRÓLEO EM LÍNGUA PORTUGUESA, 2018).

Figura 1 – Desafios tecnológicos do Pré-sal

Fonte: Morais (2013)

A diminuição dos custos de perfuração também depende do conhecimento das características das rochas. A taxa de penetração das brocas nas perfurações das rochas dos reservatórios depende da dureza das rochas, que se tornam mais duras com o aumento das profundidades. Conhecer as características das rochas e saber como se dá essa variação, permite melhorar a taxa de penetração na rocha e, desta forma, diminuir os custos de perfuração de poços (Beltrão *et al.*, 2009; Formigli *et al.*, 2009).

No que diz respeito à geometria dos poços, os desafios se relacionam à questão da profundidade dos poços perfurados no pré-sal, que podem ter extensões de até 8.000 m, incluindo poços direcionais com elevada inclinação e os poços horizontais de grande extensão. Um aspecto relevante a se destacar é que a geometria correta pode evitar desmoronamentos, garantir uma maior vazão, economia de custos e, ao mesmo tempo, permitir utilizar menor número de poços (Alves *et al.*, 2009; Beltrão *et al.*, 2009).

No caso de materiais adequados para o revestimento de poços, é necessária a utilização de materiais que suportem a pressão do sal e sua movimentação, de modo a não deformar a estrutura de aço que reveste o poço e ocasione seu fechamento. O material de revestimento, além de ser capaz de suportar a pressão da camada de sal, deve suportar a pressão da coluna d'água, e não possuir peso excessivo para não prejudicar a capacidade da plataforma de perfuração no processo de descida dos equipamentos no poço (Beltrão *et al.*, 2009).

Durante a produção de hidrocarbonetos, podem ocorrer depósitos de parafinas, hidratos e asfalto no interior das linhas de fluxo e dos *risers* que conduzem os hidrocarbonetos desde os poços até às plataformas. Para evitar ou minimizar a ocorrência desses depósitos, que podem restringir ou obstruir a passagem de petróleo e gás, são necessários estudos e medidas preventivas, relacionadas à garantia de escoamento.

Para garantir o escoamento, algumas iniciativas podem ser tomadas. Os *risers* devem possuir isolamento térmico, para manter a temperatura dos fluxos de petróleo e gás acima da temperatura de formação de hidratos e parafinas, e aditivos químicos podem ser injetados nas linhas de produção para dissolver ou inibir a formação desses depósitos. Caso depósitos tenham sido formados no interior das tubulações, eles podem ser removidos com o uso de *pigs*, que funcionam como um raspador (Beltrão *et al.*, 2009).

O controle de corrosão é outro fator importante, pois o contato entre o dióxido de carbono (CO₂) e o gás sulfídrico (H₂S) presente nos hidrocarbonetos do pré-sal, com os materiais fabricados em aço pode ocasionar a corrosão do aço, e, em casos extremos, criar furos por onde ocorra o derramamento de óleo em ambiente marinho.

O sistema de ancoragem das plataformas é feito por meio de âncoras. No caso específico do pré-sal essas plataformas são embarcações do tipo FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*), utilizadas para águas ultra profundas. Para a realização do transporte do gás natural, é necessário levar em consideração as condições climáticas e operacionais, pois o ambiente de extração possui fortes ondas e ventos, situações que dificultam a ancoragem das unidades estacionárias de produção e a estabilidade dos *risers* que elevam o gás para elas.

3. DESAFIOS DA PRODUÇÃO DEVIDO AO ALTO TEOR DE CO₂

Um outro desafio relevante na produção de petróleo e gás no pré-sal decorre da presença de gás carbônico, ou dióxido de carbono, nos reservatórios de hidrocarbonetos. Nesta seção do trabalho serão apresentadas as implicações decorrentes da alta concentração de dióxido de carbono presente nos gases e as metodologias que têm sido aplicadas para viabilizar a produção de petróleo e gás natural nos campos do pré-sal, sob elevadas pressões, vazões e profundidades.

3.1. DIÓXIDO DE CARBONO – CO₂

O CO₂, dióxido carbono, é um gás cuja molécula é formada por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. Este gás é incolor, inodoro, não inflamável, podendo ser levemente ácido, em especial quando dissolvido em água. Devido a essa característica ácida, ele pode provocar corrosão em dutos, *risers* e equipamentos durante a produção de petróleo, e chuva ácida se liberado em grandes quantidades na atmosfera. Além disso, o CO₂ é um gás que contribui para aumentar o efeito estufa e provocar o aquecimento global. Se inalado em grandes quantidades, pode provocar problemas respiratórios, além de náuseas, vômitos, irritação nas vias aéreas ou até mesmo asfixia.

Acima da temperatura de 31,05°C, o CO₂ somente é encontrado na forma de gás, independentemente da pressão. Abaixo dessa temperatura, ele pode ser encontrado no estado físico de líquido ou gás, dependendo dos valores de pressão. Em pressões muito altas, denominadas supercríticas, o gás se comporta mais como um líquido (Mathiassen, 2003).

As temperaturas dos reservatórios de petróleo são, em geral, superiores a 31,05°C, e as pressões são elevadas. Assim, nestes ambientes, o CO₂ tem um comportamento de fluido supercrítico (Lake, 1989). Em condições de pressões elevadas o CO₂ apresenta solubilidade crescente na água com o aumento da pressão (Mathiassen, 2003).

A viscosidade do CO₂ é superior à viscosidade do gás natural (0,02cp) e inferior à viscosidade da água de formação (1,0 cp), presente nos reservatórios, portanto, o CO₂ é mais efetivo que o gás natural para deslocar a água nos reservatórios.

Os reservatórios de petróleo dos diferentes campos do pré-sal são caracterizados pela alta razão gás/óleo (RGO) e pelo elevado teor de CO₂ contido no gás associado. A presença do dióxido de carbono em quantidades significativas, influencia as propriedades termofísicas e torna mais complexo o comportamento de fase das misturas com o óleo (Pasqualetto *et al.*, 2017).

Para elevadas frações molares de CO₂, o equilíbrio líquido-líquido (ELL) e o equilíbrio vapor líquido-líquido (EVLL) devem ser pesquisados em determinadas condições de pressão e temperatura, que são importantes para a operação de produção de petróleo (Ghafri *et al.*, 2014; Lucas *et al.*, 2016). A presença do CO₂ provoca aumento da razão entre a densidade gás-líquido, e a diminuição da tensão interfacial.

Esse comportamento mais complexo influencia a eficiência dos modelos adotados nos simuladores de fluxo multifásicos unidimensionais (1D), que são usados para investigar o fluxo multifásico em poços de produção, linhas de fluxo e *risers* (Carneiro *et al.*, 2015 Yang *et al.*, 2015).

Em cenários com altas pressões e baixas temperaturas, segundo Sloan e Koh (2007), Aiyejina *et al.*, (2011) e Teng *et al.*, (2016), a presença de CO₂ pode levar a problemas de garantia de escoamento, tais como deposição de parafina, a formação de gelo seco e, quando a água está presente, a formação de hidratos² (Sloan & Koh, 2007; Aiyejina *et al.*, 2011; Teng *et al.*, 2016).

Uma fração de CO₂ alta na mistura em produção pode provocar também problemas de descompressão no fluxo no *riser* e tornar as operações transitórias de reinício e de depressurização mais complexas (Carneiro *et al.*, 2015).

Devido a esses problemas, a ANP estipulou, pelo Regulamento Técnico nº 2/2008 da Resolução ANP nº 16, de 17.6.2008 – DOU 18.6.2008, que o gás natural processado a ser exportado e comercializado deve possuir no máximo 3% mol de CO₂.

Entretanto, no Pré-sal a porcentagem chega a 44%, dependendo do campo de petróleo, muito acima da margem aceitável pela ANP. O setor industrial possui tecnologias para realizar a separação do dióxido de carbono, de misturas, como absorção física e química, destilação criogênica e processos híbridos. Porém, elas não atendem a exigência mínima da ANP, dados os elevados volumes de CO₂ presentes nas jazidas do pré-sal (Rochedo *et al.*, 2016).

3.2. OS CAMPOS DO PRÉ-SAL E A PRESENÇA DE CO₂

Em 2018, a EPE – Empresa de Pesquisa Energética realizou um estudo no qual fez um levantamento da distribuição regional das concentrações de CO₂ nas bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. Os resultados mostram que as concentrações mais elevadas de CO₂ estão na bacia de Santos, ao passo que, nas bacias de Campos e do Espírito

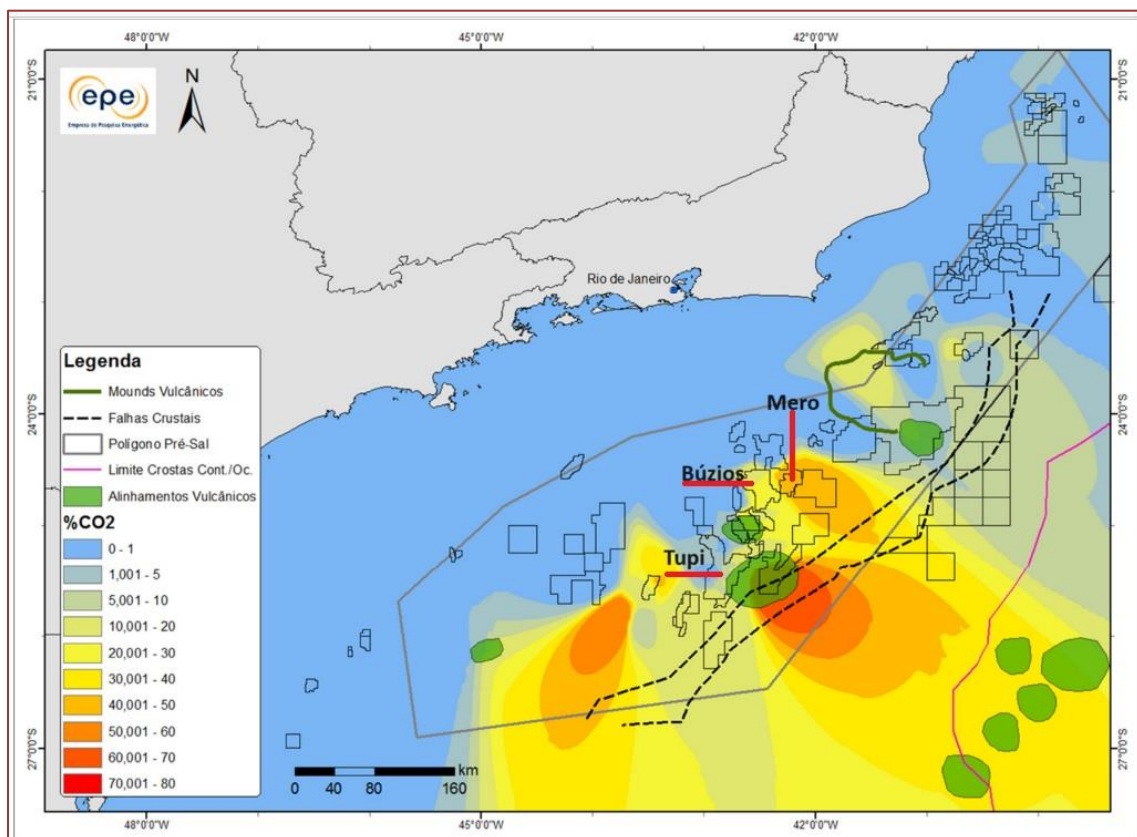
² Compostos ou íons complexos que são formados pela união de água com outras substâncias. Hidratos podem se formar em tubulações e em instalações de coleta, compressão e transmissão de gás a temperaturas reduzidas e altas pressões. Uma vez que os hidratos são formados, eles podem obstruir os dutos e afetar significativamente as operações de produção (OILFIELD GLOSSARY SCHLUMBERGER, 2018).

Santo, a maioria dos campos apresentam, em geral, baixa concentração ou concentrações residuais de CO₂ (EPE, 2018).

Na bacia de Santos, o petróleo do pré-sal contém diferentes teores de CO₂ associado, com concentrações acima de 5% e podendo alcançar até 80% em algumas regiões específicas. Um mesmo campo de petróleo pode possuir reservatórios, cujo teor de CO₂ varie lateral ou verticalmente.

A Figura 2 (EPE, 2018) mostra as diferentes distribuições das concentrações de CO₂ associadas aos reservatórios na bacia de Santos. Os campos de Tupi, Búzios e Mero estão com sua posição em destaque.

Figura 2 - Mapa de concentração de CO₂ na Margem Leste, com arcabouço estrutural



Fonte: EPE (2018).

O Campo de Tupi foi o primeiro campo do pré-sal a ser descoberto no ano de 2006, e em setembro de 2008 o campo de Jubarte, que já produzia na camada pós-sal na bacia de Campos, produziu o primeiro óleo do pré-sal por meio da plataforma P-34. Em 2009 iniciou a produção de Tupi, campo integralmente pertencente a camada pré-sal, e a partir dele, foram sendo gradualmente identificados os desafios de produção, como destacados no presente trabalho. Ele se tornou então o projeto piloto para a implementação de muitas tecnologias posteriormente usadas em outros campos no pré-sal que apresentam os mesmos problemas, em especial, o elevado teor de CO₂.

Tupi possui óleo de 31º API, uma razão gás-óleo (RGO) de 300 m³/m³ e cerca de 10% a 20% de CO₂, sendo, atualmente, o maior produtor do país, seguido por Búzios, que possui o maior volume de óleo e gás em águas profundas do mundo, segundo a Petrobras, com uma RGO de aproximadamente 230 m³/m³ e um teor de até 23% de CO₂.

Em Búzios o óleo possui óleo de 28,4º API. A razão gás-óleo se refere a razão entre a vazão de gás natural, medida nas condições-padrão de pressão e temperatura, e a vazão de óleo expressa nas mesmas condições-padrão ou na condição real de pressão e temperatura.

O terceiro maior produtor no pré-sal é o campo de Mero, cuja produção de petróleo e gás teve início em abril de 2022, por meio do FPSO Guanabara. Mero apresenta óleo considerado de médio a leve, com grau API de 29, RGO de 440 m³/m³, e teor de CO₂ de cerca de 44% no gás associado (Oliveira *et al.*, 2022).

Neste campo está sendo usada uma tecnologia inédita de separação do gás, rico em CO₂, e do petróleo, para sua reinjeção, ainda no leito marinho. Essa tecnologia, conhecida como HISEP, permite que haja redução da quantidade de gás que chega ao FPSO, com consequente aumento da produção de óleo e da eficiência do projeto. A reinjeção de gás rico em CO₂ permite que no campo de Mero ocorra um dos mais robustos programas de Captura, Uso e Armazenamento geológico de CO₂ do mundo - chamado CCUS (Petrobras, 2022).

A Tabela 1 permite comparar os valores de °API, RGO, teor em CO₂ e produção diária para os campos de Tupi, Búzios e Mero.

Tabela 1 - Propriedades dos campos de maior produção de petróleo do pré-sal

	Tupi	Búzios	Mero
°API	31	28,4	29
RGO (m ³ /m ³)	300	250	440
Teor de CO ₂	10% - 20%	23%	44%
Produção (bbl/d*)	790.005	621.628	208.692

Valores referência de produção: 06/2023

Fonte: Elaboração própria.

Como foram encontrados altos teores de concentração de CO₂ nos reservatórios do pré-sal, houve um comprometimento das empresas produtoras em não liberar esse gás para a atmosfera (Andrade *et al.*, 2015; Soares, 2018).

A especificação de gás produzido e exportado para o continente é feita pela ANP, que permite um teor máximo de 3 a 5% mol de CO₂. Dessa forma, para atender às especificações definidas pela ANP e não haver liberação para a atmosfera, o CO₂ deve ser separado e reinjetado no subsolo.

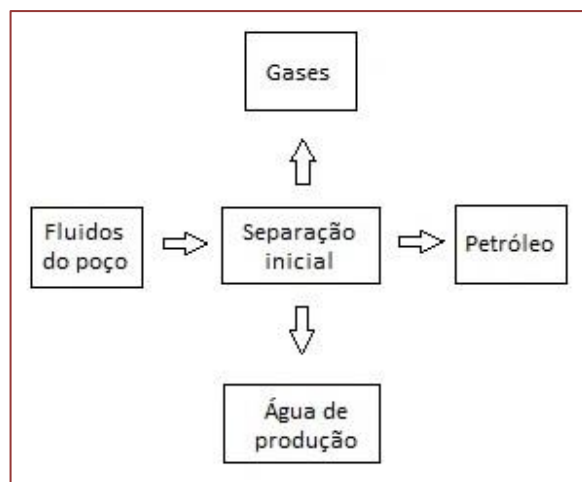
* Destaca-se que 1MMbbl/d corresponde a um milhão de barris de petróleo por dia, sendo que um barril equivale a 159 litros.

3.3. SEPARAÇÃO DO CO₂

Quando o fluido produzido pelos poços chega às FPSOs, ele possui hidrocarbonetos líquido e gasoso, água, sedimentos, sais, e contaminantes como o CO₂ e ácido sulfídrico (H₂S). Na fase inicial do processo são separadas a água, os hidrocarbonetos fluidos e os gases.

Na FPSO, o fluido proveniente dos poços passará por processos de separação e remoção de contaminantes. A definição dos equipamentos presentes nas depende da composição dos fluidos produzidos pelos poços. Nas primeiras operações ocorre a separação entre os hidrocarbonetos fluidos (petróleo) e gasosos e a água de produção (Figura 3).

Figura 3 – Representação esquemática da separação inicial de fluidos produzidos pelos poços



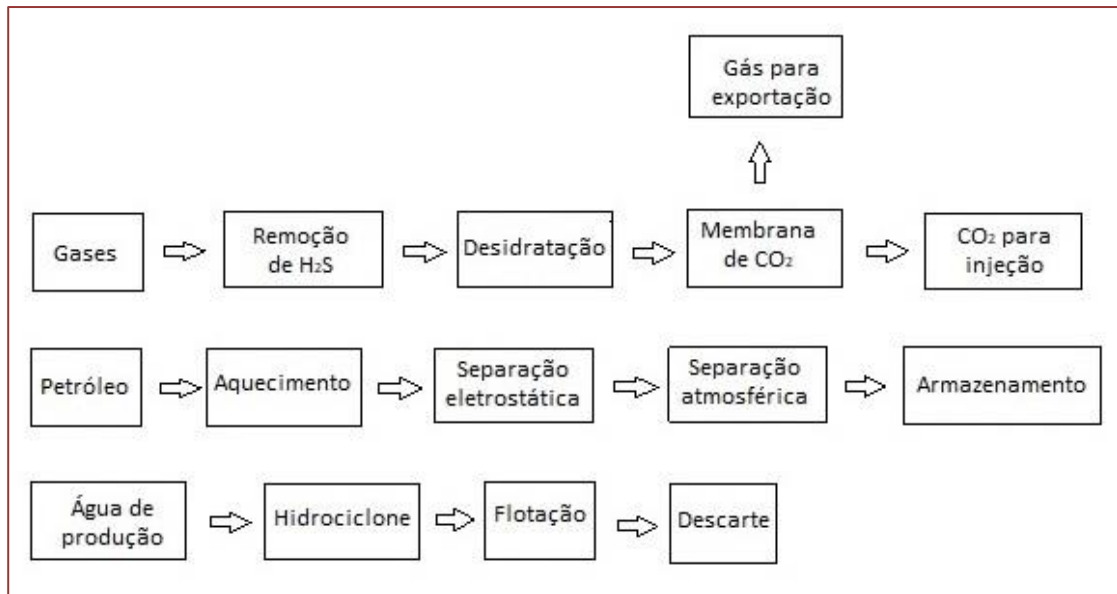
Fonte: Elaboração própria.

Os hidrocarbonetos fluidos (Figura 4) passam por uma linha de tratamento onde o fluido é aquecido, e ocorre a remoção de gases, vapor d'água, sais e sedimentos, em operações de aquecimento, separação eletrostática da água/óleo e separação atmosférica. Ao final do processo, quando o petróleo está em conformidade com os requisitos de produção é estocado em tanques de armazenamento para posterior descarga para os navios aliviadores (Andrade *et al.*, 2015; Soares, 2018).

A água produzida é encaminhada para uma planta de tratamento, composta por equipamentos como hidrociclones e células de flotação, para remoção de hidrocarbonetos residuais e outros contaminantes de modo que sejam atendidas as normas ambientais, antes de seu descarte no mar.

O gás produzido (hidrocarbonetos contendo dióxido de carbono) é tratado para ser usado como gás combustível, gás de elevação, gás de exportação ou para ser reinjetado no reservatório. Em função dos constituintes do gás, a linha de tratamento (Figura 4) contém compressores e equipamentos para remoção de H₂S, de vapor d'água, e para a separação de CO₂ (Andrade *et al.*, 2015; Soares, 2018).

Figura 4 – Representação esquemática de operações que ocorrem em uma FPSO

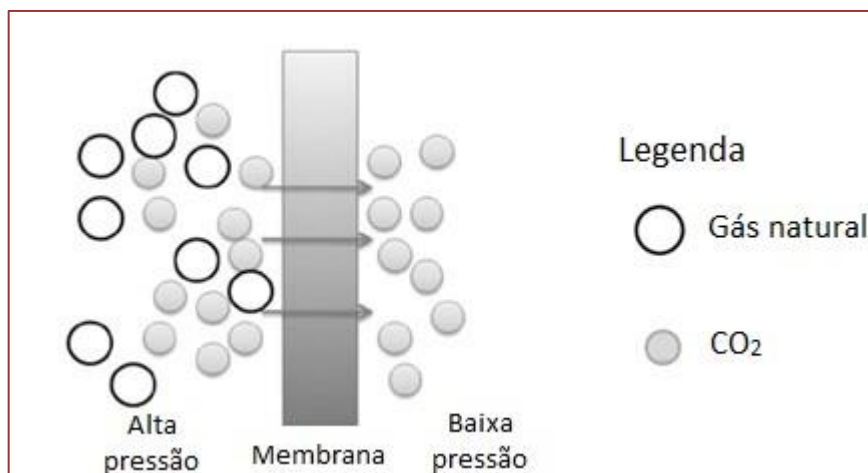


Fonte: baseado em Andrade *et al* (2015).

O gás passa por processos de desidratação para redução do teor de umidade. A presença de umidade no gás é um problema crítico pois pode acelerar processos corrosivos, se o gás possuir altos teores de contaminantes, e de formação e hidratos, caso a corrente de injeção de gás esteja submetida a altas pressões.

A separação do CO₂ produzido é feita em plantas de separação por membranas, conforme mostrado esquematicamente na Figura 5. A separação entre as moléculas de gás decorre da diferença de propriedades físico-químicas. Moléculas de CO₂ e de CH₄ (metano) passam pela membrana. O CO₂ separado, juntamente com o metano, será destinado à reinjeção para o subsolo em poços construídos especificamente para este fim. A reinjeção de gás pode ser feita de forma alternada com a reinjeção de água, em um processo denominado *WAG - Water-Alternating-Gas*.

Figura 5 – Esquema de membranas para separação de CO₂



Fonte: modificado de Rocha (2015).

O Campo de Tupi é o primeiro campo no pré-sal onde se efetua a separação de dióxido de carbono associado ao gás natural, por meio de membranas. Este campo está localizado em águas ultra profundas, com lâmina d'água em torno de 2.220 metros. O campo possui o poço mais profundo para injeção de CO₂ em reservatórios de produção por meio do método de WAG.

Cerca de 85% de dióxido de carbono produzido no pré-sal é reinjetado. Além de reduzir a emissão de gases efeito estufa (GEE), a reinjeção contribui para a manutenção da pressão dos reservatórios e no gerenciamento da produção.

Em 2022, a Petrobras atingiu a marca de reinjetar 10,6 milhões de toneladas de CO₂ nos reservatórios do pré-sal, o equivalente a 25% do total reinjetado pela indústria global naquele ano. Segundo a companhia, desde o início do projeto CCUS, que começou como um piloto no campo de Tupi, já foi possível reinjetar cerca de 40,8 milhões toneladas de CO₂ nos reservatórios do pré-sal. A meta da empresa é ampliar a capacidade anual de reinjeção e alcançar a marca de 80 milhões de toneladas de CO₂ reinjetados até 2025. (Petrobras, 2023).

3.4. INJEÇÃO DE CO₂

A injeção do dióxido de carbono nos reservatórios é um método de recuperação utilizado para manter a produtividade da produção de petróleo. A injeção do gás pode ser feita isoladamente ou em alternância com água. À medida que o petróleo vem sendo produzido, a pressão do reservatório diminui, ocasionando redução da produção por diminuição da pressão.

A injeção do CO₂ em associação ou não com a injeção de água é, portanto, uma estratégia para manutenção da pressão interna nos reservatórios, aumentando o volume de recurso natural extraído.

Segundo Rosa; Carvalho; Xavier (2011), o dióxido de carbono possui temperatura crítica de 31°C, e acima dessa temperatura ele se encontra em estado gasoso. A temperatura dos reservatórios é superior a essa temperatura crítica. Portanto, quando o método de injeção é utilizado, o CO₂ encontra-se em estado gasoso e provoca a diminuição das forças capilares e interfaciais que restringem a produção de óleo, reduzindo assim a saturação residual (presença residual de hidrocarbonetos) no reservatório.

A injeção de dióxido de carbono tem sido cada vez mais empregada na produção de petróleo e gás natural no pré-sal.

Quando se injeta um fluido no reservatório ele promove, a partir do poço de injeção, o deslocamento do fluido contido no reservatório em direção ao poço produtor. A eficiência dessa operação é denominada eficiência de varrido (Rosa, Carvalho e Xavier, 2011), sendo determinada pela relação entre a área invadida pelo fluido injetado e a área total do meio poroso do reservatório. A eficiência do varrido depende da geometria da injeção, do volume de fluido injetado, da razão de mobilidade do fluido injetado e da mobilidade do fluido deslocado.

Quando ocorre a injeção de CO₂ é formada uma zona de miscibilidade com o óleo presente no reservatório, não sendo identificada uma interface entre os fluidos. Essa zona de miscibilidade constitui uma frente deslocante do óleo no reservatório (Lima, 2016).

O dióxido de carbono, possui menor viscosidade que o óleo presente nos reservatórios e movimenta-se mais facilmente. Dessa forma, alguns cuidados devem ser tomados na operação de injeção para evitar que o gás injetado induza a formação e propagação de caminhos preferenciais de deslocamento de fluidos. Caso isso ocorra, uma parte significativa de óleo permanece no reservatório. Uma maneira de resolver esse problema é a utilização de espumas na injeção com o dióxido de carbono. As espumas dispersam as bolhas de gás no líquido e diminuem a mobilidade (Lake; Schmidt; Venuto, 1992).

As condições ideais e necessárias para as operações de injeção de CO₂ em um reservatório são: seguir encontra-se em destaque as condições necessárias para a realização da injeção em reservatórios, segundo Rosa, Carvalho e Xavier (2011):

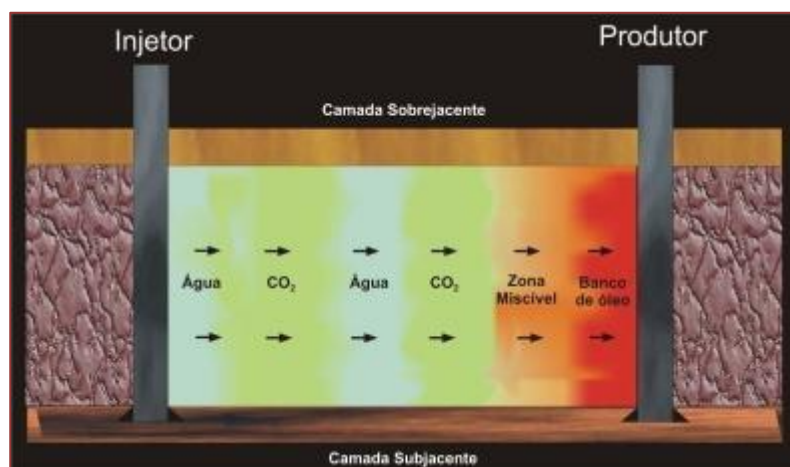
- Óleos superior a 25º API;
- Intervalo de pressão aproximadamente entre 1.500 *psi* e um limite prático superior de 6.000 *psi*;
- Reservatórios que se encontrem a uma profundidade tal que possa haver deslocamento miscível sem que ocorrer o faturamento da formação.

A injeção alternada de dióxido de carbono e água - o processo de WAG (*Water Alternating Gas*) – permite que sejam combinados os benefícios do dióxido de carbono e da água para se conseguir uma maior varredura do reservatório. A água alcança regiões inferiores e o gás as regiões superiores do reservatório. Por isso, este método é um dos mais eficientes para obtenção de uma varredura completa (Ferreira, 2017).

O método WAG pode alcançar uma eficiência de varrido de 90%, enquanto a eficiência da injeção quando se usa somente o gás atinge uma faixa de 20 a 50% (Rosa, Carvalho & Xavier, 2011).

A Figura 6 representa o método de injeção de CO₂ alternado com água, mostrando óleo sendo deslocado em direção ao poço produtor por meio de uma zona miscível de CO₂, sendo varrido pela injeção de água e gás.

Figura 6 – Representação esquemática de injeção alternada de dióxido de carbono e água (WAG)



Fonte: Pinto (2009).

4. CORROSÃO

O processo de corrosão pelo CO₂ representa um dos principais mecanismos de deterioração de tubulações na indústria de petróleo e gás natural (Santos, 2009). O uso de técnicas de recuperação baseadas na injeção deste gás tem transformado a corrosão de *risers* e tubulações de produção de petróleo em um desafio para as empresas de petróleo.

O dióxido de carbono somente só se torna corrosivo na presença de água. Nesta condição o gás se dissolve, formando o H₂CO₃ (ácido carbônico), que ataca os materiais metálicos. A água permite que ocorram as reações eletroquímicas entre os metais e os íons dissolvidos (Bellarby, 2009).

Nos sistemas produtivos do pré-sal, os dutos de produção estão submetidos a um processo de fragilização por corrosão sob tensão, pelo CO₂, identificado em língua inglesa pela expressão *Stress Corrosion Cracking* – SCC, que leva o rompimento deles. A ocorrência do SCC depende da presença do contaminante em concentração suficiente, associada à tensão estática, cíclica ou residual sofrida pelos dutos, durante um determinado intervalo de tempo. A combinação dos fatores corrosão, tensão e tempo, associados à temperatura e material, faz com que o duto se rompa. Se esta falha ocorrer inesperadamente, ela pode causar a perda da linha de produção e acidentes com consequências ambientais (ANP, 2017).

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou as principais dificuldades operacionais de produzir no pré-sal, causadas pela presença de CO₂. Foram mencionados os efeitos provocados pela presença do dióxido de carbono nos hidrocarbonetos, como a corrosão de *risers*, que pode levar à ruptura e provocar acidentes ambientais.

Para este trabalho, foi escolhido o desafio do alto teor de CO₂ presente no gás associado para dar mais ênfase. Mediante a isso, foi explicado sobre as propriedades do CO₂, bem como seu comportamento e sua dificuldade. Foram apresentadas também quais as implicações desse alto teor na hora de produzir, quais os conceitos por trás das metodologias que estão sendo utilizadas e como elas estão sendo empregadas. Assim, é possível diminuir o efeito do mesmo e viabilizar a produção de petróleo e gás natural em condições extremas.

Lembrando que ainda existem incertezas e ainda há muito o que ser explorado e aprimorado, este trabalho visa deixar como contribuição acadêmica, uma perspectiva sobre o desenvolvimento e produção do pré-sal sob o efeito do dióxido de carbono presente nos hidrocarbonetos, respeitando as resoluções vigentes das agências reguladoras, o meio ambiente e a preservação da vida.

REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP, **Alerta de Segurança 001 - ANP/SSM: Corrosão sob Tensão por CO₂**. 2017. Disponível em:

<http://www.anp.gov.br/images/EXPLORACAO_E_PRODUCAO_DE_OLEO_E_GAS/Seguranca_Operacional/alertas/alerta_001_SSM_SCC-CO2_PT.pdf> Acesso em: 24 nov. 2018.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP, **Resolução ANP**

nº 16, de 17 de junho de 2008. Diário Oficial da União de 1 de junho de 2008.

- [3] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Estudo sobre o Aproveitamento do Gás Natural** (2020). Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/livros-e-revistas/arquivos/aproveitamentognpresal.pdf> >. Acesso em 21 dez. 2021.
- [4] ALVES, I.; ARAGAO, A.; BASTOS, B.; FALCAO, J.; FARTES, E. Pre-Salt Santos Basin - Well Construction Learning Curve Acceleration. **Offshore Technology Conference**, OTC 20177, Houston, USA, 4–7 May 2009.
- [5] ANDRADE, A. M. T. de; VAZ, C. E. M.; RIBEIRO, J. LOPREATO, L. G. R.; NASCIMENTO, R. F. S. do. Offshore Production Units for Pre-Salt Projects. **Offshore Technology Conference**, Houston, Texas - USA, 4-7 May 2015.
- [6] BELLARBY, JONATHAN. **Well Completion Design**. Oxford: Elsevier, 2009;
- [7] BELTRÃO, R. L. C.; SOMBRA, C. L.; LAGE, A. C. V. M.; FAGUNDES NETTO, J. R.; HENRIQUES, C. C. D. (2009). Challenges and New Technologies for the Development of the Pre-salt Cluster, Santos Basin, Brazil, **Offshore Technology Conference**, Houston, Texas, USA, 4–7 May 2009.
- [8] CARNEIRO, J. N. E.; PASQUALLETE, M. A.; REYES, J. F. R.; KROGH, E.; JOHANSEN, S. T.; CIAMBELLI, J. R. P.; RODRIGUES, H. T.; FONSECA, R. Jr. Numerical simulations of high CO₂ content flows in production well, flowlines and risers. **Offshore Technology Conference Brazil**, Rio de Janeiro 27-29 Oct.2015.
- [9] DICIONÁRIO DO PETRÓLEO EM LÍNGUA PORTUGUESA, 2018. Disponível em: < <http://dicionariodopetroleo.com.br/> >. Acesso em: 13 nov. 2018.
- [10] EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Ocorrência de CO₂ em Campos Petrolíferos na Margem Leste Brasileira. (2018). Disponível em <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-322/>>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- [11] FERREIRA, F. T. C. **Análise da injeção alternada de água e gás (WAG) com escalonamento das vazões**. 2017. 63 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2017.
- [12] GHAFRI, S. Z. A.; MAITLAND, G. C.; TRUSLER, J. P. M. **Experimental and modeling study of the phase behavior of synthetic crude oil + CO₂. Fluid Phase Equilibria**, 365: 20-40. 2014.
- [13] LAKE, L. W. **Enhanced Oil Recovery**. Prentice Hall. 1989.
- [14] LAKE, L. W.; SCHMIDT, R. L.; VENUTO, Paul B. A niche for enhanced oil recovery in the 1990s. **Petroleum Engineer International**, Cidade, p. 55-61, jan. 1992. Disponível em: < https://www.slb.com/~media/files/resources/oilfield_review/ors92/0192/p55_61.pdf >. Acesso em: 20 nov. 2018.
- [15] LIMA, L. M. de. **Análise do processo de injeção contínua de CO₂ ou água em reservatórios com características do pré-sal**. 2016. 64f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- [16] LUCAS, M. A.; BORGES, G. R.; ROCHA, I. C. C., SANTOS, A. F.; FRANCESCHI, E.; DARIVA, C., 2016. Use of real crude oil fractions to describe the high pressure phase behavior of crude oil in carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, 118.
- [17] MATHIASSEN, O. M. 2003. CO₂ as Injection Gas for Enhanced Oil Recovery and Estimation of the Potential on the Norwegian Continental Shelf. **Technical report**, NTNU - Norwegian University of Science and Technology.
- [18] MORAIS, J. M. de. **Petróleo em Águas Profundas: Uma história Tecnológica da Petrobras na Exploração e Produção Offshore**. Brasília: Ipea: Petrobras, 2013.
- [19] PASQUALETTE, M. A.; REMPTO, M. J.; CANEIRO, J. N. E.; FONSECA, R.; CIAMBELLI, J. R. P.; JOHANSEN, S. T.; LØVFALL, B.T. Parametric Study of the Influence of GOR and CO₂ Content on the Simulation of a Pre-Salt Field Configuration. **Offshore Technology Conference Brazil**, Rio de Janeiro, Brasil, 24-26 Oct.2017.
- [20] OLIVEIRA, A. M. de; GONÇALVES, A. A.; SILVA, W. A. da; COSTA, L. T.; PASSARELLI, F. M. Challenges and Opportunities for Subsea Electrical Power Systems for High Power Subsea Processing and Boosting: HISEP Study Case. **Offshore Technology Conference Houston**, Texas - USA 2-5 May 22.

- [21] PETROBRAS. Fatos e Dados. **Iniciamos a operação da primeira plataforma definitiva no campo de Mero, no pré-sal da Bacia de Santos**, 2022. Disponível em: < <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/iniciamos-a-operacao-da-primeira-plataforma-definitiva-no-campo-de-mero-no-pre-sal-da-bacia-de-santos.htm>>. Acesso em: 26 mai. 2023.
- [22] PETROBRAS. Fatos e Dados. **Obtivemos reconhecimento internacional por pioneirismo em captura e armazenamento de CO₂ (CCUS)**, 2023. Disponível em: < <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/obtivemos-reconhecimento-internacional-por-pioneirismo-em-captura-e-armazenamento-de-co2-ccus.htm>>. Acesso em 13 set. 2023
- [23] PINTO, T. de A. **Estudo paramétrico da recuperação de óleo no processo de drenagem gravitacional com injeção de CO₂**. Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Área de Concentração: Engenharia e Geologia de Reservatórios e de Exploração de Petróleo e Gás Natural (ERE), Natal-RN, Brasil, 2009.
- [24] ROCHEDO, P.; COSTA, I.; IMPÉRIO, M.; HOFFMANN, B.; MERSCHMANN, P.; OLIVEIRA, C.; SZKLO, A.; SCHAEFFER, R. (2016) Carbon capture potential and costs in Brazil. **Journal of Cleaner Production** 131 (2016) p. 280-295
- [25] ROSA, A. J.; CARVALHO, R. D. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.
- [26] SANTOS, F. P. dos. **Uso de Simuladores para Previsão da Corrosão pelo CO₂ em Aço Carbono na Indústria de Petróleo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [27] SLOAN, E. D.; KOH, C. A. **Clathrate hydrates of natural gases**. 3rd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA.
- [28] SOARES, E. M. de S. R. **Desafios da Produção de Petróleo e Gás Natural no Pré-Sal: O Caso do CO₂**. Dissertação (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em < https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/8079/Emilaine_TCC_UFF.pdf>. Acesso em 26 mai. 2023
- [29] TENG, L.; ZANG, D., LI, Y.; WANG, W.; WANG, L.; HU, Q.; YE, X.; BIAN, J.; TENG, W., 2016. Multiphase mixture model to predict temperature drop in highly choked conditions in CO₂ enhanced oil recovery. **Applied Thermal Engineering**, 108: 670-679.
- [30] YANG, Z.; LIU, X.; LING, Y.; LI, M.; DONG, Z., 2015. Interfacial tension of CO₂ and crude oils under high pressure and temperature. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 428: 611-616.

Capítulo 5

Implementação e eficiência do Sistema Alternativo de Abastecimento de Água Coletivo – Salta-Z localizado no município de Bujari – AC

*Henrique Amaral de Oliveira
Thales Araújo de Figueiredo
Wilma Furtado Nogueira*

Resumo: Os municípios do Estado do Acre – BR, buscam superar os entraves da Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB, abarcando as diretrizes nacionais e os princípios para a universalização do acesso ao saneamento básico, amparado pela Lei Federal nº 11.445/2007 (LNDSB), atualmente o número de municípios que já elaboraram o plano é muito pequeno levando em consideração o número total de municípios do estado, o presente artigo se trata da apresentação da elaboração do plano municipal do município de Acrelândia – AC, tendo como metodologia o diagnóstico técnico-participativo, que consiste na avaliação dos anseios e expectativas da população nas áreas urbana e rural nas 04 temáticas do saneamento básico. Nas zonas urbana e rural foram realizadas reuniões participativas em comunidades rurais, associações de produtores e escolas públicas, o presente trabalho concluiu que as condições do saneamento básico do município de Acrelândia são precárias, e muito distante da universalização dos serviços proposta na LNDSB, principalmente em relação aos temas esgotamento sanitário e limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

Palavras-chaves: PMSB, Diagnóstico Técnico-Participativo, Acrelândia.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial a toda vida existente no planeta, renovada constantemente através do seu ciclo hidrológico. No entanto devido ao aumento da população mundial e o desenvolvimento econômico, este recurso está sofrendo drásticas alterações tanto físicas, químicas e biológicas.

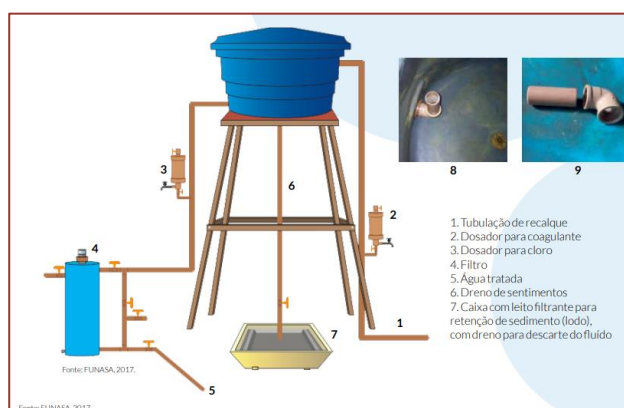
De acordo com novo relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), em todo o mundo cerca de três em cada dez pessoas, em um total de 2,2 bilhões, não têm acesso a água potável em casa, e seis em cada dez, ou 4,2 bilhões carecem de saneamento seguro.

As doenças de veiculação hídrica, causadas por bactérias, vírus, protozoários, helmintos e outros micro-organismos patogênicos são os problemas de saúde públicas mais comuns dos países em desenvolvimento. Essas doenças transmitem-se principalmente por meio de excretas de origem humana ou animal, por sua introdução nas fontes de água, tornando-a imprópria para o consumo humano (BRASIL, 2014).

Nesse contexto, visando atender os Padrões de Potabilidade da Água previstos na Portaria do Ministério da Saúde 2.914/2011, o Ministério da Saúde desenvolveu um sistema de Solução Alternativa Coletiva – SAC simplificado para realizar a clarificação, filtração e desinfecção em águas de superfície e subterrânea.

Tal solução alternativa visa atendimento às situações especiais e excepcionais em pequenas comunidades, tais como: moradores da zona rural, pequenas comunidades ribeirinhas, escolas da zona rural, comunidades indígenas, que ainda não contam com abastecimento público –Salta-Z (FIGURA 01).

Figura 01: Representação Gráfica do Sistema SALTA-Z



Fonte: FUNASA, 2018.

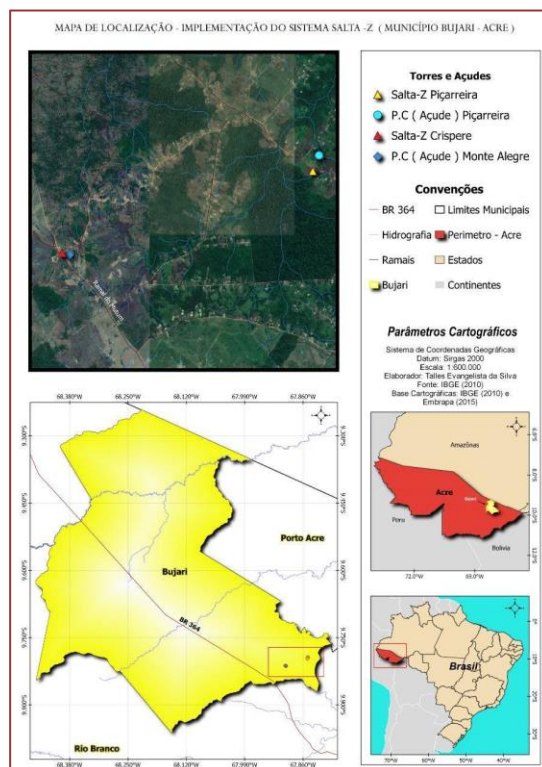
2. OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho foi realizar o diagnóstico dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos dos corpos d'água, e analisar a eficiência de tratamento dos sistemas SALTA-Z implantados no município de Bujari, Acre.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

A área de estudo localiza-se no Estado do Acre, na Regional do Baixo Acre, município de Bujari (FIGURA 02). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, atualmente o município apresenta uma estimativa populacional de 10.266 habitantes, densidade demográfica 2,79 hab./km², conforme indicação do CENSO 2010.

Figura 02: Mapa de Localização do Município de Bujari, Acre



Fonte: Autores, 2019.

Os sistemas Salta-Z implantados, a priori, no Estado do Acre possuem capacidade de 5.000 litros, conforme descrição do Guia da FUNASA. Tal kit é composto de 42 itens e custa aproximadamente R\$ 17.850,00 (dezesete mil reais oitocentos e cinquenta reais), orçamento data base 2018, sendo sua instalação no valor aproximado de R\$ 4.000,00 (quatro mil reais) de competência das prefeituras municipais.

Dentre os aspectos de escolha para implementação do Sistema Coletivo de Tratamento de Água adotado pela FUNASA, foram realizadas 08 coletas, sendo água bruta e água tratada, em 03 locais distintos da zona rural do município de Bujari, mananciais localizados no Ramal da Piçarreira, Ramal Monte Alegre e Ramal do Crispere.

A escolha dos locais atende ao critério de elegibilidade estipulado pela Fundação de Saúde que é de fundamental importância para a implantação do Salta-Z, onde abarca o maior número de habitantes com acesso a água tratada.

Outro critério analisado foi a fácil orientação às equipes envolvidas no processo de implantação da Solução Alternativa Coletiva de Tratamento de Água, uma vez que a

adoção de condutas técnico - administrativas adequadas promovem a participação e a construção coletiva, visando o fortalecimento das instâncias municipais, e consequentemente, à defesa do Sistema Único de Saúde – SUS.

No que concerne aos procedimentos de análises, as amostras foram coletadas na captação, manancial lântico (água bruta), e na saída dos reservatórios, torneiras (denominada água tratada). As coletas foram realizadas no período de junho a julho de 2019, período caracterizado pela transição climática amazônica onde o inverno acreeano é seco com temperaturas mais baixas, e o verão é chuvoso.

As coletas seguiram os procedimentos e logística previamente definida pela FUNASA, sendo todas as amostras coletadas separadamente, por pontos (ramais), e posteriormente encaminhadas ao laboratório da FUNASA – SUEST – AC para determinação dos parâmetros de Temperatura, pH, Turbidez, Cor Aparente, Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes.

Com relação às técnicas para quantificar os coliformes, heterótrofos e parâmetros físico-químicos da água seguiu-se o Manual Prático de Análise da Água, no qual foi elaborado seguindo as normas preconizadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater publicação da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation.

Os equipamentos utilizados para as análises físico-químicas foram Turbidímetro Portátil de Campo e Laboratório - DM-TU - Digimed, Medidor de pH: pHmetro calibração automática de bancada Digital DM22 Digimed, Termo-Higrômetro Digital com Sensor Externo e Relógio - AK28, e DM-COR calorímetro medidor de cor para água 0 - 500 UC digimed sistema RGB tri-estimulo dm-cor.

Os equipamentos utilizados para análise bacteriológica foram a estufa com controlador de temperatura de 50° a 250°C da marca De Leo utilizada para secagem e esterilização, e posterior utilização da Lanterna de Emissão de Radiação UV 254NM E 365NM.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

Após coleta e determinação dos parâmetros físicos – químicos e bacteriológicos no ponto de Captação e na saída do Sistema de Tratamento Alternativo de Água, apresenta-se os seguintes resultados no Quadro 01:

Quadro 01: Análises físico – químicas e bacteriológicas da água bruta no ambiente lântico

ÁGUA BRUTA								
Local Ramal	Reservatório	Data Coleta	pH	Temperatura	Cor Aparente	Turbidez	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes <i>E. Coli</i>
Piçarreira Ponto 01	Lântico	26/07/2019	6,38	27,0°C	155	39	Presente	Presente
Piçarreira Ponto 02	Lântico	27/07/2019	5,99	19,3°C	172	100	Presente	Presente
Monte Alegre	Lântico	26/07/2019	6,89	25,0°C	216	47	Presente	Presente
Crispere	Lântico	23/07/2019	5,94	29,0°C	177	132	Presente	Presente

Fonte: SACQA, Funasa – Suest/AC.

Quadro 02: Análises físico – químicas e bacteriológicas da água tratada no ambiente lântico

ÁGUA TRATADA								
Local Ramal	Reservatório	Data Coleta	pH	Temperatura	Cor Aparente	Turbidez	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes <i>E. Coli</i>
Piçarreira Ponto 01	Salta - Z	13/07/2019	6,98	27,2°C	2,2	0,51	Ausente	Ausente
Piçarreira Ponto 02	Salta - Z	25/07/2019	5,68	24,0°C	3,5	0,75	Ausente	Ausente
Monte Alegre	Salta - Z	26/07/2019	6,35	25,0°C	15,4	2,48	Ausente	Ausente
Crispere	Salta - Z	26/07/2019	6,14	25,7°C	19,6	5,05	Presente	Ausente

Fonte: SACQA, Funasa – Suest/AC.

Os primeiros testes do Sistema de Tratamento de Água, observou - se que houve redução de Cor Aparente de 98,58 % (Salta - Z Piçarreira Ponto 01), 97,96% (Salta - Z Piçarreira Ponto 02), 92,87% (Monte Alegre) e 88,93% (Crispere), entretanto a Cor Aparente esteve acima do permitido nos pontos de Monte Alegre e Crispere.

No que tange ao parâmetro de pH, este se mostrou fora dos Valores Máximos Permitidos - VMP, entre 6 a 9,5 na rede de distribuição, no ponto Piçarreira 02 (5,68).

Todas as amostras de água bruta apresentaram presença de Coliformes Totais e Termotolerantes, após a água passar pelo Sistema de Tratamento Salta-Z houve uma redução desses microrganismos em todos os pontos, exceto para o ponto coletado no Ramal Crispere que apresentou presença de Coliformes Totais. Para a água de consumo humano, a Portaria 2.914/2011 estabelece ausência em 100 mL de amostra, tanto para Coliformes Totais quanto para Coliformes Termotolerantes. Assim, conforme estabelecido pela legislação, pode-se concluir que a amostra do Crispere se encontra imprópria para consumo, uma vez que houve presença de Coliformes Totais, entretanto não apresenta contaminação fecal (*E. Coli*).

No que diz respeito ao parâmetro de Cor Aparente, a legislação estabelece o VMP de 15 (quinze) uH como padrão de aceitação para consumo humano, estando assim o Ponto do Ramal Monte Alegre (15,4) e Crispere (19,6) foram dos limites estabelecidos. A cor, em sistemas de abastecimento de água, é esteticamente indesejável. A sua medida é de fundamental importância, visto que, água de cor elevada provoca a sua rejeição por parte do consumidor e o leva a procurar outras fontes de suprimento muitas vezes inseguras.

No ponto do Ramal Crispere, pode-se fazer uma correlação do parâmetro de cor aparente com o parâmetro de turbidez, uma vez que o último também se mostrou acima dos valores desejados (5,00 mgPt-Co/L). O parâmetro de turbidez pode indicar a presença de matéria orgânica, algas, plânctons e outras substâncias como manganês e ferro, assim como consequente presença de coliformes.

5. CONCLUSÕES

O Salta - Z foi desenvolvido com o intuito de proporcionar água potável para populações que residem em locais desprovidas de rede de distribuição de água como áreas rurais, ribeirinhas, indígenas ou ainda áreas de interesse do Governo Federal, visando minimizar a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Neste contexto, o Sistema Salta – Z implementado no Município de Bujari apresentou ótima eficiência, em quase sua totalidade, na remoção de Cor, Turbidez, Coliformes Totais e Termotolerantes, mostrando ser uma solução de baixo custo, com material de fácil aquisição por parte da FUNASA em parceria com as Prefeituras.

Porém, mediante os resultados apresentados, observou-se que a água tratada dos Pontos do Ramal Monte Alegre e Crispere pode estar comprometida e imprópria para o consumo humano, uma vez que apresentou parâmetros como Cor Aparente, Turbidez e Coliformes Totais fora dos limites estabelecidos pela Portaria 2.914/2011.

Vale ressaltar, a importância social da implantação de tais sistemas, uma vez que tende a propiciar a interação com a população local no que tange o fornecimento de mão de obra para operação da Unidade de Tratamento, corroborando com os resultados dos Sistemas Alternativos Coletivos implantados em Belém do Pará apresentados por VIEIRA (2017).

Entretanto, mesmo tal sistema possuindo fácil operação e manutenção, este requer a correta caracterização da água do manancial a ser tratada, e principalmente realização do controle da qualidade da água a fim de atendimento aos padrões de Potabilidade estabelecidos na Portaria 2.914/2011.

RECOMENDAÇÕES

A fim de garantir o controle da qualidade da água fornecida para a população atendida pelo SALTA-Z, recomenda-se que sejam seguidas o número mínimo de amostras mensais, de acordo com a população abastecida, conforme Anexo XIV da Portaria 2.914/2011.

O monitoramento da qualidade da água é de suma importância para realizar a manutenção e operação do sistema, principalmente em relação a alteração da água bruta do manancial, visto as características climáticas peculiares na região amazônica.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Resolução CONAMA N° 20, de 18 de junho de 1986. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília-DF, p. 11-356, 1986.
- [2] BRASIL. Portaria no 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde. Normas e padrões de potabilidade de água destinada ao consumo humano. Brasília-DF, 1990.
- [3] BRASIL, Resolução CONAMA n°357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional, Brasília-DF, 2005.
- [4] BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde. Brasília, DF, 2006.
- [5] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Brasília, DF, 2011.
- [6] BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: < http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf >. Acesso em: 14 nov. 2019.
- [7] BRASIL, Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de saúde. Publicado no D.O.U.
- [8] IBGE. População estimada no município de Acrelândia. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/acrelandia/panorama>>. Acesso em 19 de out. 2019
- [9] OLIC, N. B. A questão da água no Brasil e no mundo. Revista Pangea Mundo, 2002.

Capítulo 6

Avaliação da presença de compostos fenólicos na água de abastecimento do município de Rio Claro/SP

Julia Meliski Mendes

Aurora Mariana Garcia de França Souza

Resumo: A desinfecção da água é uma prática milenar, embora em sua origem os princípios envolvidos no processo não fossem conhecidos. Os processos de desinfecção têm como objetivo a destruição ou inativação de organismos patogênicos que podem levar à proliferação de doenças e de outros organismos indesejáveis. A utilização do cloro no processo de tratamento da água para abastecimento público passou a ser praticada no início do século XX e está associada à desinfecção, à oxidação de compostos orgânicos presentes no meio ou a ambos, bem como, à necessidade de se evitar recontaminação na distribuição. No entanto, quando a água captada possui substâncias fenólicas, que reagem com o cloro, podem formar subprodutos, incluindo os clorofenóis. Os clorofenóis são compostos orgânicos pertencentes à classe dos fenóis, nos quais ocorreu a substituição de um ou mais hidrogênios pelo cloro na estrutura do anel fenólico, podendo ter efeitos prejudiciais à saúde e imprimir características organolépticas à água, como gosto e odor, afetando negativamente a aceitabilidade da água para consumo. Diante do exposto, a presente pesquisa concentrou-se na avaliação da presença de fenol na água bruta da captação e clorofenóis, na água tratada para abastecimento público do município de Rio Claro-SP. Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos na Portaria GM/MS Nº 888, de maio de 2021, de modo a avaliar a conformidade com o padrão de potabilidade brasileiro. Ao final, pode-se concluir que as fontes de captação e água tratada fornecida a população apresentam concentrações de fenol e clorofenóis, respectivamente, com valores inferiores a 0,05 µg/L e ainda que a aplicação adequada de processos de desinfecção e monitoramento asseguram a garantia da qualidade da água de abastecimento e conseqüentemente a saúde da população.

Palavras-Chaves: clorofenóis, potabilidade da água, propriedades organolépticas.

1. INTRODUÇÃO

A segurança da qualidade da água potável que chega às residências e empresas é de fundamental importância quer para garantir o atendimento aos padrões de potabilidade, quer para manter a aceitação dos consumidores.

No Brasil, visando a atender ao padrão microbiológico de potabilidade, estabelecido pela legislação em vigor, as águas têm que ser submetidas a um processo de desinfecção que têm como objetivo promover a inativação de microrganismos patogênicos.

Na maioria das ETA's (Estações de Tratamento de Água) do país, o processo de desinfecção é realizado pela adição de cloro à água, conhecido como cloração, por apresentar uma série de vantagens, tais como, a inativação dos microrganismos em tempo relativamente curto; porque o cloro é um agente químico não tóxico aos seres humanos, que não confere sabor e odor às águas nas dosagens usualmente empregadas na desinfecção; por apresentar residuais estáveis, e por apresentar custo relativamente baixo quando comparado com o uso de outros processos, (Alvarenga, 2010).

Como mencionado, a adição de cloro durante o ciclo de tratamento de água visa então eliminar microrganismos patogênicos e a propagação de doenças, uma vez que é um agente químico utilizado para oxidar a matéria orgânica proveniente dos mananciais e ainda evitar a recontaminação que possa aparecer ao longo do processo de distribuição (Ropele, 2019).

Contudo, a reação do cloro residual livre com alguns compostos orgânicos naturais ou algum contaminante presente nas águas acarreta a formação de subprodutos, entre esses alguns que são capazes de causar efeitos adversos à saúde humana e por isso têm sua concentração limitada em normas e padrões de potabilidade, além de modificar as características organolépticas da água, como o gosto e o odor, (Brasil, 2007).

Entre esses subprodutos estão os clorofenóis que são compostos químicos que pertencem à família dos fenóis, nos quais um ou mais átomos de hidrogênio na estrutura do anel fenólico foram substituídos por átomos de cloro (Estevinho, 2005).

Ressalta-se que a presença de gosto e odor na água é uma preocupação importante para os consumidores e para as autoridades de saúde, uma vez que pode afetar negativamente a aceitação da água para consumo.

No território nacional é a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que regulamenta os padrões de qualidade e potabilidade para a água de consumo humano e fixa limites de alguns clorofenóis, subprodutos da desinfecção, que podem trazer riscos à saúde, (Brasil, 2021).

2. OBJETIVO

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar, respectivamente, a presença de fenol e de clorofenóis nas águas de captação e de abastecimento público do município de Rio Claro-SP, comparando os resultados obtidos com os limites estabelecidos na Portaria GM/MS Nº 888, de maio de 2021.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A água de abastecimento provém de fontes subterrâneas, rios, lagos e reservatórios e cabe aos sistemas de tratamento municipais submetê-las a uma série de processos físicos e químicos com o objetivo de aprimorar a sua qualidade.

Um tratamento convencional de água é composto por um conjunto dos processos/operações unitárias sequenciais de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (Botero, 2009).

Após a captação, a água é bombeada até a Estação de Tratamento de Água (ETA), passa por uma calha Parshal, utilizada para medir a vazão de entrada e, então destinada a tanques de coagulação e floculação, denominados floculadores. O processo de coagulação empregado na maioria das ETAs envolve a aplicação de produtos químicos, os coagulantes.

No tocante à coagulação, cabe informar que coagular provém do latim *coagulare*, que significa juntar. Segundo Cardoso (2003), podemos definir o processo de coagulação como a desestabilização das forças que mantém as partículas coloidais suspensas afastadas. Isso ocorre porque grande parte das partículas e moléculas presentes na água possuem cargas elétricas carregadas negativamente, enquanto o coagulante adicionado tem carga elétrica positiva. Assim, ocorre a atração dessas moléculas formando os coágulos.

A floculação é a aglomeração dos coágulos formados. Nessa etapa, a água é agitada lentamente por pás dispostas verticalmente nos tanques, para que ocorram choque entre as partículas, permitindo que se unam, de modo a formar partículas maiores, os flocos, que são mais pesados e com maior capacidade de decantação (Silva, 2005).

A decantação é um fenômeno físico natural e consiste na deposição das partículas que foram formadas nas operações anteriores (coagulação/floculação) no fundo dos decantadores, operação que é regida pela ação da força gravitacional, (Francisco, Pohlmann e Ferreira, 2011).

Já a filtração tem o objetivo de remover as partículas suspensas, os flocos formados durante a floculação e outras impurezas sólidas que ainda podem estar presentes na água tratada, deixando a água clarificada. Para isso, um meio filtrante, compostos de corpos porosos de diferentes granulometrias, é utilizado. Essa operação é essencial para garantir que a água atenda aos padrões de qualidade e seja segura para consumo humano (Francisco, Pohlmann e Ferreira, 2011).

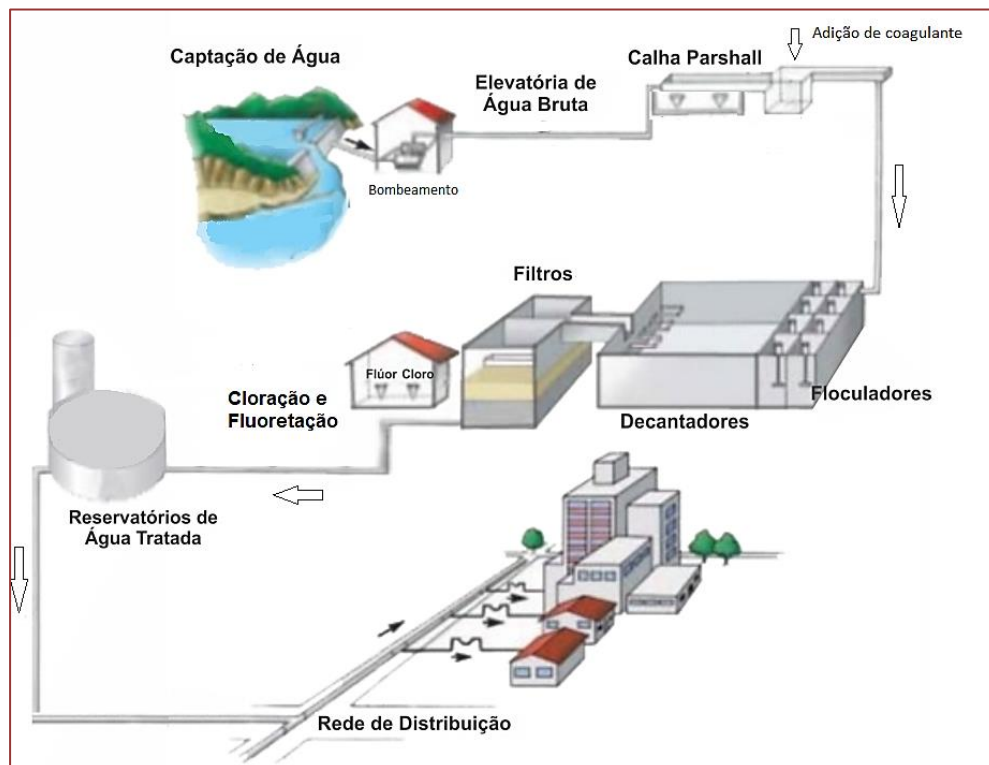
Heller & Padua (2010) afirmam que a desinfecção da água tem caráter corretivo e preventivo. Segundo o autor, o caráter corretivo da desinfecção objetiva a eliminação de microrganismos patogênicos e de propagação de doenças. Por outro lado, é mantido um residual do agente desinfetante utilizado, na água de abastecimento, para atuar preventivamente, caso ocorra alguma contaminação ao longo da rede de distribuição, e indicar a qualidade da água distribuída.

A desinfecção pode ser realizada por intermédio de agentes físicos ou químicos, sendo que os mais comumente utilizados são o cloro, o dióxido de cloro, o ozônio e a radiação ultravioleta (UV). Os três primeiros são agentes oxidantes químicos e sua ação está associada a interação química, enquanto os demais são agentes físicos, (Andrade, 2010).

Como última etapa no tratamento da água de abastecimento tem-se a fluoretação que corresponde a adição de flúor, em geral na forma de ácido fluorsilícico, fluorsilicato de sódio, fluoreto de sódio ou fluoreto de cálcio, com a finalidade de prevenir a decomposição dos esmaltes dos dentes (Heller & Padua, 2010).

A figura 1 esquematiza um processo de tratamento convencional em uma ETA, indicando suas principais etapas como descritas anteriormente.

Figura 1: Fluxograma processo de tratamento convencional de ETA



Fonte: Adaptado de SAE (2023).

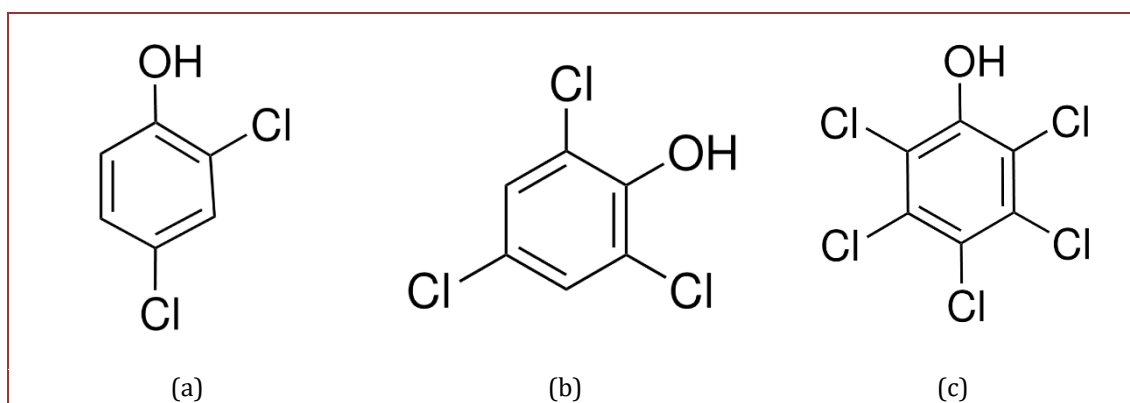
3.2. OS CLOROFENÓIS COMO SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA

Os clorofenóis são uma classe de 19 compostos químicos isômeros que pertencem à família dos fenóis, incluindo mono-, di-, tri- e tetraclorofenóis, e o pentaclorofenol (PCF), nos quais um ou mais átomos de hidrogênio na estrutura do anel fenólico foram substituídos por átomos de cloro. A toxicidade, a fraca biodegradabilidade e as suas propriedades carcinogênicas e recalcitrantes fazem destes compostos um grave problema ambiental e de saúde, (Estevinho, 2005).

Os efeitos podem variar dependendo da quantidade, duração da exposição e do tipo específico de clorofenol envolvido. Em sua grande maioria, os compostos são especialmente tóxicos e potencialmente carcinogênicos à saúde humana e podem representar riscos ao ecossistema em altas concentrações, devido a sua alta toxicidade e persistência no ambiente. (Sartori, 2007).

Os clorofenóis podem existir em várias formas e isômeros, dependendo da posição dos átomos de cloro no anel de benzeno. A Figura 2 insere alguns exemplos de clorofenóis.

Figura 2. Fórmula estrutural de alguns clorofenóis: (a) 2,4-diclorofenol; (b) 2,4,6-triclorofenol; (c) pentaclorofenol (PCF)



Fonte: Sigma Aldrich (2023).

No contexto do tratamento de água, a presença de clorofenóis como subproduto da desinfecção, é uma preocupação importante, pois esses compostos podem ser formados quando a água captada, que pode conter substâncias fenólicas naturais ou de origem antropogênica, entra em contato com o cloro, durante o processo de desinfecção e cloração. As substâncias fenólicas naturais são resultantes da degradação de compostos orgânicos presentes na matéria orgânica, como folhas, madeira, plantas aquáticas, e até mesmo microrganismos presentes no meio ambiente, enquanto as de origem antropogênica são aquelas que fazem parte da composição química de diferentes produtos, como preservantes de madeiras, pesticidas, desinfetantes, entre outros, (Marques, 2009).

Além dos problemas apontados, a presença de fenóis clorados está frequentemente associada a alteração de características organolépticas, como a ocorrência de gosto e o odor indesejados na água tratada (Ferreira Filho & Alves, 2006).

3.3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

O monitoramento das águas é definido como sendo a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ocorrer de forma contínua ou periódica e que é utilizado para o acompanhamento da condição e controle da qualidade dessas águas (Brasil, 2005).

Assim, o monitoramento torna-se um importante instrumento para controle ambiental e gestão de recursos hídricos, por permitir a avaliação de tendências ao longo do tempo e a identificação de desvios de procedimentos, servindo como base para tomada de decisões e assegurando a garantia da conformidade com regulamentações e padrões ambientais, (Leitão *et al.*, 2015).

3.4. PADRÃO DE POTABILIDADE

O padrão de potabilidade da água é um conjunto de características que visa garantir que a água fornecida à população atenda a critérios de qualidade que a tornem segura para o consumo humano (Xavier, Quadros e Silva, 2022). Esses critérios incluem limites para substâncias químicas inorgânicas, orgânicas e microbiológicas que podem afetar a saúde das pessoas quando presentes em concentrações inadequadas.

A Portaria GM/MS Nº 888 do Ministério da Saúde, é, no Brasil, o documento que estabelece as diretrizes e regulamentações para o controle e garantia da qualidade da água destinada ao consumo humano, bem como estabelece os padrões de potabilidade a serem seguidos. (Brasil, 2021).

São três os clorofenóis presentes na referida Portaria, quais sejam, 2,4-diclorofenol; 2,4,6 triclorofenol e o pentaclorofenol, para os dois primeiros, a concentração permitida em águas de abastecimento é de 200 µg/L, entanto para o último, a concentração permitida é de 9 µg/L.

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada em quatro etapas, quais sejam, o levantamento bibliográfico para o conhecimento do assunto do estudo; a visitas técnicas aos locais (ETAs) para a coleta das amostras; a realização das análises das amostras coletadas; e avaliação dos resultados obtidos.

4.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico foi conduzido através da pesquisa de artigos científicos, monografias, dissertações e teses na plataforma Google Acadêmico, bem como, de livros didáticos e técnicos. Foram utilizadas palavras-chave específicas, tais como tratamento de água, clorofenóis, potabilidade, organolépticas e subprodutos da desinfecção com cloro, como base para desenvolver a introdução ao tema. Este levantamento se correlacionou com a visita técnica realizada e serviu como ponto de partida para discussões subsequentes.

4.2. LOCAIS DAS VISITAS TÉCNICAS E DAS COLETAS DE AMOSTRAS

Foram realizadas duas visitas às ETA's do município de Rio Claro/SP, para o conhecimento do processo de tratamento realizado e a coleta das amostras.

As coletas das amostras foram realizadas nos meses de maio (coleta 1/inverno) e setembro (coleta 2/verão) de 2023, a fim de contemplar as operações de cloração dos períodos de inverno/estiagem e verão/chuvas.

Para a coleta foram definidos dois pontos, sendo as estações de captação dos mananciais, para a água bruta, e a saída das estações de tratamento, para a água tratada.

4.3. ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises das amostras coletadas foram realizadas nos laboratórios de análises ambientais da empresa Eurofins que é uma instalação especializada em testes e análises de matrizes ambientais, como água, solo, resíduos e emissões atmosféricas, acreditada na ABNT ISO/IEC 17025 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração (ABNT, 2017), que gentilmente cedeu suas instalações para tal.

4.3.1. PREPARO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Para a determinação da concentração de fenol nas águas brutas das captações e dos clorofenóis nas águas tratadas das saídas das estações de tratamento foi empregada a metodologia EPA Method 8270 E – Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS) (EPA, 2018) e técnica de cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC/MS).

Os clorofenóis analisados neste trabalho foram 2-clorofenol, 2,4-diclorofenol, 2,6-diclorofenol, 3,4-diclorofenol, 2,4,5-triclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, 2,3,4,5-tetraclorofenol, 2,3,4,6- tetraclorofenol e Pentaclorofenol (PCF), entre os quais estão inclusos os três compostos presentes na Portaria GM/MS Nº 888 de maio de 2021.

Em conjunto foram avaliadas nas águas tratadas das saídas das estações de tratamento os parâmetros organolépticos associados à presença de clorofenóis, quais sejam, gosto e odor. Para tal, foi utilizado a técnica sensorial e metodologia Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24^a Ed. Método 2160 B – Flavor Threshold Test e 2150 B - Threshold Odor Test (APHA, 2023).

Os métodos sensoriais, que envolvem o uso do paladar e do olfato são empregados para avaliar e comparar o sabor e o odor de uma amostra com os de uma água de referência utilizada como diluente. Em termos mais específicos, os resultados são expressos em FTN (Flavor Threshold Numer) e TON (Threshold Odor Number), que representam o número de diluições necessárias para que a concentração de sabor ou odor presente se torne indetectável (APHA, 2023).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE RIO CLARO

O município de Rio Claro/SP conta com duas estações de tratamento de água, ETA I – JOSÉ MARIA PEDROSO que capta suas águas do rio Ribeirão Claro e a ETA II – JOSÉ CRESPO que capta suas águas no Rio Corumbataí. Ambas empregam o método de tratamento convencional. Detalhes adicionais dessas estações são apresentados na Tabela 1.

O gás cloro é o desinfetante utilizado em ambas as ETAs estudadas. Conforme informações obtidas nas visitas técnicas, as concentrações utilizadas na operação de desinfecção da água de abastecimento são de 1,5 a 2,0 ppm, no verão e de 1,0 a 1,5 ppm, no inverno.

Tabela 1 – Informações ETA I e ETA II de Rio Claro/SP

ETA	Manancial de captação	Capacidade nominal de tratamento (l/s)	Produção diária (m ³ /dia)	Tipo de tratamento	Distribuição municipal
I - JOSÉ MARIA PEDROSO	Ribeirão Claro	350	25.000	Convencional	40 % - Região Sul
II - JOSÉ CRESPO	Rio Corumbataí	500	35.000	Convencional	60% - Região Norte

Fonte: Elaborada pelas autoras (2023).

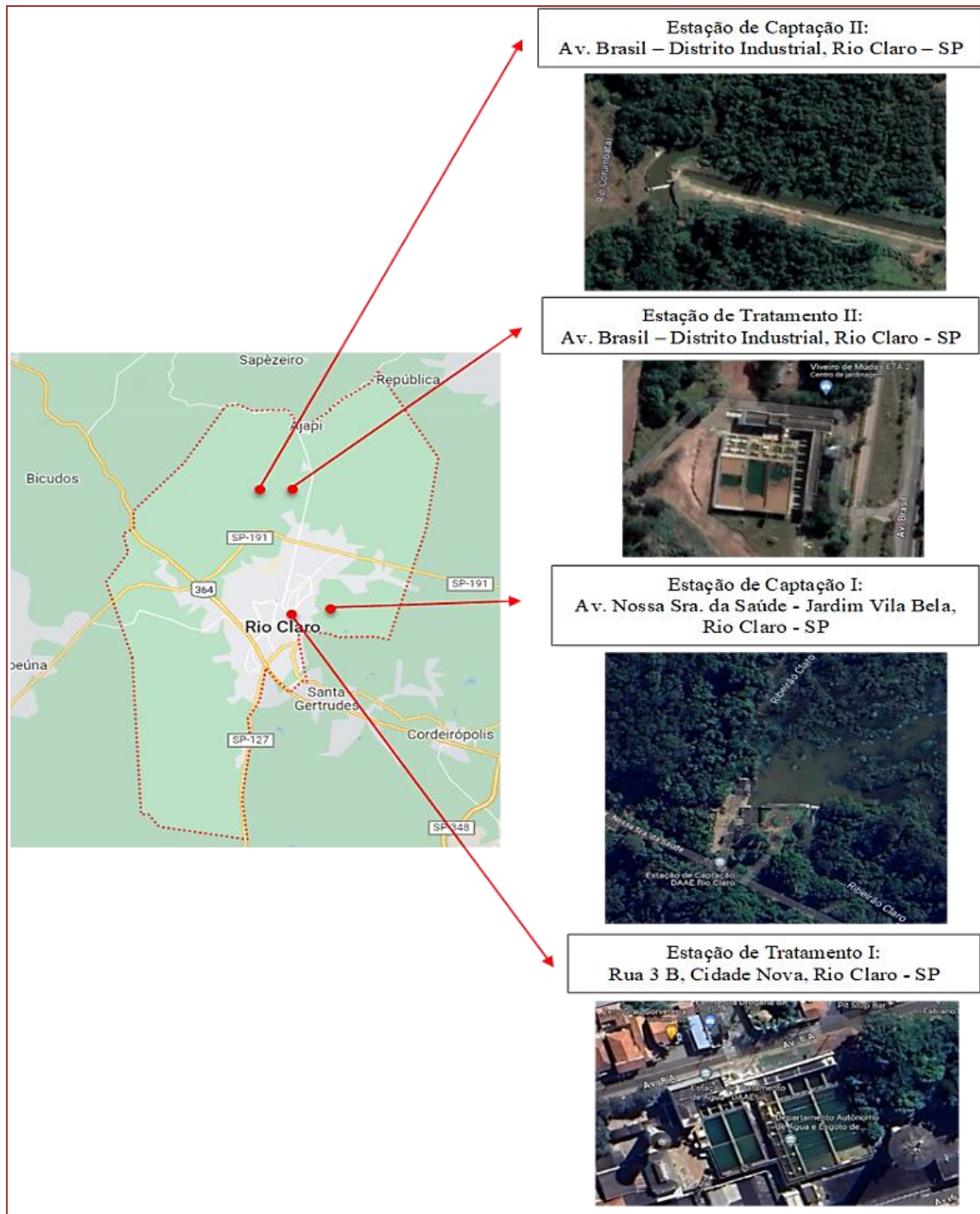
As diferenças no processo de cloração da água entre o verão e inverno/estiagem envolvem ajustes na dosagem de cloro para atender às especificidades das variações sazonais. No verão aumenta a probabilidade de chuvas, o que pode diluir a concentração de cloro na água bruta, ou ainda, a exposição à luz solar direta pode levar à degradação mais rápida do cloro residual na água, exigindo uma dosagem maior para manter os níveis de desinfecção necessários.

A empresa responsável pelo processo de tratamento de água do município de Rio Claro/SP adota um procedimento de monitoramento da qualidade das águas baseado em amostragens e ensaios físico-químicos, químicos, organolépticos e biológicos anuais, com periodicidade definidas. As coletas e ensaios são realizados por provedores externos e em laboratório próprio.

5.2. LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO E PONTOS DE COLETA

A Figura 3 insere a localização das Estações de capação e Tratamento do município de Rio Claro/SP.

Figura 3. Localização das Estações de captação e Tratamento do município de Rio Claro/SP



Fonte: Autoria própria a partir de dados do Google Maps (2023).

Nas Figuras 4 a 7 são apresentadas, respectivamente, visões dos pontos de coleta da água bruta e da água tratada, em cada estação, para cada uma das coletas realizadas para esta pesquisa.

Figura 4 – Captação da água bruta no Ribeirão Claro, para a ETA I. Coleta 1/inverno (a) e Coleta 2/verão (b)



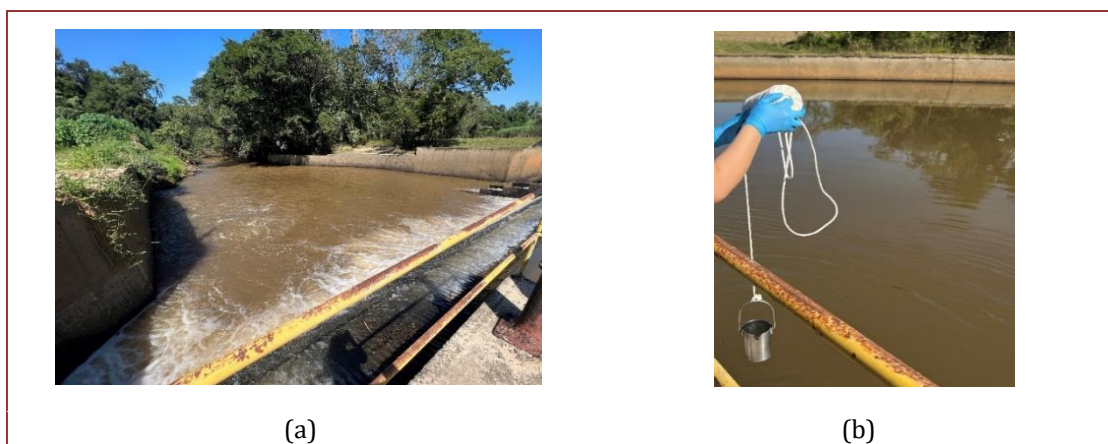
Fonte: fotografia das autoras (2023).

Figura 5 – Pontos de coleta da água tratada na ETA I. Coleta 1/inverno (a) e Coleta 2/verão (b)



Fonte: fotografia das autoras (2023).

Figura 6 - Captação da água bruta no Rio Corumbataí, para a ETA II. Coleta 1/inverno (a) e Coleta 2/verão (b)



Fonte: fotografia das autoras (2023).

Figura 7 - Pontos de coleta da água tratada na ETA II. Coleta 1/inverno (a) e Coleta 2/verão (b)



Fonte: fotografia das autoras (2023)

5.3. ANÁLISES DE FENOL E CLOROFENÓIS

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados, respectivamente, os resultados para as concentrações de fenol nas águas brutas da captação e para clorofenóis, gosto e odor nas águas tratadas.

Como já mencionado, somente os compostos 2,4-diclorofenol; 2,4,6 triclorofenol e o pentaclorofenol, possuem valores de concentração em águas de abastecimento impostos pela Portaria CM/MS nº 888. O Valor Máximo Permitido (VMP) para os dois primeiros é de 200 µg/L, entando para o último, é de 9 µg/L, (Brasil, 2021). Assim sendo, pela análise dos resultados é possível se afirmar que as águas brutas das captações e tratada de abastecimento do município de Rio Claro/SP, apresentam concentrações de fenol e clorofenóis com valores abaixo dos valores de referência previstos pela mencionada portaria. Salienta-se que a concentração de 0,05 µg/L é o valor Limite de Quantificação da

metodologia empregada nesta pesquisa, ou seja, refere-se a menor concentração que pode ser quantificada de forma precisa e confiável.

Conforme estabelecido no artigo 22, inciso IV, do primeiro parágrafo da Portaria GM/MS Nº 888 (Brasil, 2021), é determinado que o Limite de Quantificação (LQ) das metodologias empregadas para a realização das análises deve ser igual ou inferior ao VMP para cada parâmetro analisado, o que ocorre no presente caso.

Tabela 2. Concentração de fenol na água bruta: coleta 1/inverno e coleta 2/verão

Parâmetros (µg/L)	Captação ETA I (Ribeirão Claro)		Captação ETA II (Rio Corumbataí)	
	Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão	Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão
Fenol	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Fonte: própria autoria (2023)

Tabela 3. Resultados das concentrações de fenol e dos compostos fenólicos e para as propriedades organolépticas na água tratada: coleta 1/inverno e coleta 2/verão

Parâmetros	Unidade	Saída ETA I		Saída ETA II	
		Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão	Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão
Fenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4-Diclorofenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,5-	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4,6-	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2-Clorofenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
3,4-Diclorofenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,6-Diclorofenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4,5	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,3,4,6-	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Pentaclorofenol	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Parâmetros organolépticos	Unidades	Saída ETA I		Saída ETA II	
		Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão	Coleta 1/inverno	Coleta 2/verão
Gosto e Sabor (FTN)	FTN	< 1	< 1	< 1	< 1
Odor	TON	< 1	< 1	< 1	< 1

Fonte: Tabela elaborada pelas autoras (2023).

Embora o Ministério da Saúde ainda não tenha estabelecido valores de referência para todos os clorofenóis avaliados nesta pesquisa, propõe-se adotar o VPM de 9 µg/L para efeito de discussão dos resultados obtidos. Tal valor foi escolhido por ser mais restritivo dentre valores impostos pela legislação vigente. Assim sendo, é possível se afirmar que todos os clorofenóis avaliados estariam em concentração abaixo daquela passível de causar danos à saúde.

Em relação às propriedades organolépticas gosto e odor, o Padrão Organoléptico de Potabilidade imposto pela portaria é de um VMP de intensidade igual a 6. Ressalta-se que no passado, anteriormente as revisões da legislação em vigor, eram citados somente os adjetivos “objetável” ou “não objetável” como forma de análise para gosto e odor em determinada água final.

Cabe dizer que, em que pesem as capacidades das técnicas sensoriais em avaliar e medir o gosto e o odor em águas de abastecimento, bem como a considerável dificuldade no desenvolvimento de métodos analíticos que permitam a identificação dessas características, essas técnicas sensoriais já vêm sendo amplamente adotadas por laboratórios e empresas de saneamento, fornecendo um valioso suporte na tomada de decisões relacionadas às tecnologias a serem implementadas para o tratamento águas de abastecimento (Ferreira Filho & Alves, 2006).

Desta forma, as alterações da legislação e o aprimoramento dos ensaios e registros de dados para os parâmetros gosto e odor, ao longo dos anos, tornam-se ferramentas eficazes para tomadas de decisões, o que permitem se fazer importantes intervenções que salvaguardam a qualidade ambiental dos mananciais e a saúde da população.

Acrescenta-se ainda que o aumento da dosagem de cloro no verão não acarretou alteração nas águas tratadas, quanto à presença de clorofenóis, gosto ou odor, diferentemente do encontrado por Almeida et al. (data não encontrada), que analisaram amostras de água bruta e tratada da rede de Lisboa/Portugal. Os autores encontraram um ligeiro aumento nas concentrações no inverno em relação ao verão, encontrando valores acima de 0,5 µg/L para 2,4,6-triclorofenol; 2,4-diclorofenol e 2-clorofenol.

6. CONCLUSÕES

O objetivo da presente pesquisa foi atendido à medida que as coletas e análises foram realizadas para avaliação da concentração de clorofenóis na água de abastecimento do município de Rio Claro/SP.

As duas fontes de captação de água bruta apresentam concentrações de fenol com valores inferiores a 0,05 µg/L. Tal cenário se reproduz para as amostras de água tratada fornecida à população para todo o grupo dos clorofenóis.

Os compostos 2,4,6-Triclorofenol, 2,4-Diclorofenol e Pentaclorofenol, que estão sujeitos aos padrões estabelecidos na Portaria GM/MS Nº 888, de maio de 2021, estão em conformidade e atendem aos critérios de qualidade estipulados.

Em relação às propriedades organolépticas, evidenciou-se a ausência de gosto e odor.

As concentrações não apresentaram variações significativas entre as duas estações estudadas, tanto no verão quanto na estiagem.

Infere-se que a aplicação adequada de processos de desinfecção e cloração no tratamento da água assegura que não ocorra a formação subsequente desses compostos, bem como a sistemática de monitoramento implementada pela empresa responsável, demonstra eficácia na garantia da qualidade da água servida à população.

Por fim, enfatiza-se que o poder público, que é responsável pela adequada qualidade da água servida à população, não relegue o processo de desinfecção; crie condições que minimizem ao máximo a formação de composto clorofenólicos; adotem

medidas que preservem a integridade dos recursos hídricos, evitando sua contaminação, implementando ações de melhoria contínua que otimizem os processos de tratamento, mantendo a devida manutenção dos sistemas de distribuição (tubulações e reservatórios) e realizando um controle rigoroso da qualidade da água de abastecimento.

REFERÊNCIAS

- [1] ALMEIDA, C., NASCIMENTO, J., BOAS, L. V., CAVACO, M. A., & BENOLIEL, M. J. Tratamento da água: sub-produtos da coloração. [S. l.: s. n.], [199- ?]. Disponível em <<https://aprh.pt/congressoagua98/files/com/130.pdf>>. Acesso em 19 de agosto de 2023.
- [2] APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 24th ed. Washington DC: APHA Press. 2023.
- [3] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro ABNT, 2017.
- [4] BOTERO, W. G., SANTOS, A. D., OLIVEIRA, L. C. D., & ROCHA, J. C. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Quim. Nova, Vol. 32, No. 8**, 2009.
- [5] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005.
- [6] BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888. 4 de maio de 2021**, Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, DF, Ed. 85. Seção 1, p. 127, 2021.
- [7] CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. 2003. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- [8] ESTEVINHO, B. M. A. N. **Tecnologias alternativas para a remoção de Clorofenóis em matrizes aquosas**. 2005. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente. Departamento de Engenharia Química da Universidade do Porto. Porto/Portugal. 2005.
- [9] EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 8270E (SW-846): Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS)**, Washington, DC. 2018.
- [10] FERREIRA FILHO, S. S.; ALVES, R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. **Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, p. 362-370**, 2006.
- [11] FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. **Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência**. In: **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2011, Londrina/PR. Anais: IX-0005, 2011.
- [12] HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2010.
- [13] LEITÃO, V. D. S., CUBA, R. M. F., SANTOS, L. D. P. S., & SANTOS NETO, A. S. **Utilização do índice de qualidade de água (IQA) para monitoramento da qualidade de água em uma área de preservação ambiental**. I Congresso de Ciências e Tecnologia da PUC Goiás. Anais. 2015.
- [14] MARQUES, J. I. F. Desenvolvimento de um método para determinação de cloroanisóis e clorofenóis em amostras de solo. 2009. Disponível em <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59027/1/000136274.pdf>>. Acesso em 20 de outubro de 2023.
- [15] ROPELE, N. C. Afinal, colocar cloro na água durante o tratamento é uma boa opção? Entenda!. 2019.

BRK AMBIENTAL. Disponível em <<https://blog.brkambiental.com.br/cloro-na-agua/>>. Acesso em 20 de agosto de 2023.

[16] SAE - Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba. Fluxograma do tratamento de água. 2023. Disponível em < <https://www.sae.com.br/agua/fluxograma>>. Acesso em 02 de novembro de 2023.

[17] SARTORI, A. V. **Vigilância da qualidade da água para consumo humano: estudo de Clorofenóis**. 2007. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro. 2007

[18] SIGMA ALDRICH. 2023. Disponível em< <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt>>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

[19] SILVA, C. A. **Estudos aplicados ao uso da moringa oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. 2005. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, MG. 2005.

[20] XAVIER, M. D. V. S., QUADROS, H. C., & DA SILVA, M. S. S. Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, p. e42511125118, 2022.

Capítulo 7

Ciências de dados aplicados à sustentabilidade

Danival Campos Nogueira Junior

Deise Cristina Silva de Oliveira Campos Nogueira

Resumo: A Tecnologia da Informação veio para revolucionar as diversas áreas do conhecimento humano, além de ser um divisor de águas nas Ciências Exatas, um salto na capacidade do ser humano de fazer cálculos complexos em tempo ínfimo. Na esteira deste assunto, a estatística foi impulsionada a passos largos. Este trabalho utiliza dados do trabalho anterior: Tecnologia da Informação Aplicada à Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. A pesquisa tem o aspecto da Ciência de Dados aplicados à sustentabilidade (em conformidade com a meta 12, objetivo 5 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Organizações das Nações Unidas). Foi utilizada a computação como apoio à modelagem estatística; mais especificamente a linguagem *Python* (para um tratamento prévio, e formatação dos dados); logo após foi aplicado uma forma de regressão linear, e outra de regressão polinomial. Como plataforma foi utilizado o *Google Colabs*. O arcabouço estatístico foi utilizado como sustentáculo para a implementação do conceito dos 4 Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e repensar), visando manter a operacionalidade sem desperdícios, destinando o excedente para o correto fim e com formas de antever o futuro para futuras adaptações necessárias.

Palavras-chave: Tecnologia da Informação, Estatística, *Python*, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A saltos largos, a computação tornou possível que grandes bases de dados fossem analisadas para, posteriormente, serem inferidas ou modeladas. Segundo Morettin e Singer (2019), no lugar do termo Statistics, foi sugerido que se optasse por Data Science a fim de cobrir a ampla gama de assuntos cobertos pela estatística com auxílio computacional.

Morettin e Singer (2019) relatam que o aprendizado com estatística é a junção de algoritmos computacionais e modelos estatísticos com vistas a prever o comportamento de uma variável dependente a partir de uma ou mais variáveis independentes. Para este trabalho, foram usados dois modelos de regressão (linear e polinomial), modelos que visam devolver variáveis quantitativas.

Na esteira de temas atuais, é possível mencionar também a necessidade de implantar os quatro “Rs” (reduzir, reutilizar, reciclar e repensar) da sustentabilidade no cotidiano, seja empresarial, governamental ou doméstico. Em se tratando dos quatro “Rs”, tal tema vai ao encontro da meta doze da agenda 2030 de desenvolvimento sustentável. Pela amplitude da meta, foi visto que o quinto objetivo era bastante pertinente, pois propunha reduzir consideravelmente, do momento atual até 2030, a geração de resíduos mediante atividade de prevenção, redução, reciclagem e reutilização (ONU, 2022).

Com o auxílio das Ciências de Dados, é possível gerar um modelo de previsão para ajustar as necessidades atuais e futuras, a fim de reduzir o consumo de matérias-primas (evitando aquisições desnecessárias), reutilizar o excedente em estoque, reciclar as ferramentas excedentes (a grande maioria metálicas e que se encontram em mau estado de conservação) e, por fim, repensar as necessidades de estoque para manter somente o necessário, evitando a aquisição de produtos metálicos que geram grandes impactos ambientais para a sua confecção (MORAES; MORETTI; GEROTO, 2011).

No que se refere à metodologia deste trabalho, nas palavras de Rampazzo (2005), inicia-se com uma pesquisa bibliográfica em que os assentamentos teóricos para o desenvolvimento foram obtidos. Logo após, é feita a pesquisa experimental por meio da qual os dados são manipulados de forma a obter a causa e o efeito sobre as variáveis para, após os resultados obtidos, serem utilizados no estudo de sustentabilidade proposto pelo autor.

Com o escopo formado, das Ciências de Dados aplicados à sustentabilidade, o autor visa não apenas uma análise fria dos números, mas interagir os dados matemáticos com os futuros profissionais que estão em formação em uma escola técnica pública. Ademais, visa incutir a cultura da sustentabilidade como cerne de suas formações e que levem tais conhecimentos nos locais onde forem trabalhar.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir dos dados da pesquisa intitulada Tecnologia da Informação Aplicada à Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. A partir de um dataframe (objeto do pacote pandas) gerado, foram utilizadas duas variáveis: a independente ferramentas_dia, e a dependente usuarios. O intuito é relacionar a quantidade de ferramentas entregues pelo número de usuários. Como primeira tentativa, outras variáveis não foram levadas em consideração.

Para tanto, foi utilizado o *Google Colabs* como plataforma, e a linguagem Python que contém amplo amparo no tratamento de dados (Pacote Pandas), visualização de gráficos (Seaborn e Matplotlib), ajuste de retas (OLS do statsmodels) e curvas (*Scipy*).

Após todo o tratamento, foram obtidas várias métricas, inclusive o uso de cada modelo de ferramenta (Diagrama de Pareto). Cada modelo específico de ferramenta foi catalogado e inferido sua proporção no estoque, e sua proporção de uso. Sendo assim, vários excedentes (sem uso prático) foram plotados. Primeiramente, o foco será em ferramentas de aço, pois são a grande maioria. A seguir, outros materiais entrarão no tratamento e na correta destinação (reciclagem).

No que se refere ao método, é possível destacar que tal trabalho foi obtido a partir do tratamento feito em pesquisa realizada anteriormente. Como primeira tentativa de se ajustar uma reta ou curva. O esforço foi em direção a apenas uma variável independente (USUARIOS), visando a simplicidade do projeto.

Como apoio ao projeto, foi utilizada a plataforma *Google Colabs*, com o auxílio da linguagem Python, e suas inúmeras bibliotecas de apoio à estatística. A biblioteca Pandas foi utilizada para tratamento do arquivo original, em formato xlsx. Tal arquivo foi convertido para um objeto Dataframe e, por conseguinte, herdou seus métodos. Para a visualização de dados foram utilizadas as bibliotecas Matplotlib e Seaborn.

Após a plotagem gráfica dos dados, foi utilizada a biblioteca Ols do Statsmodels (mínimos quadrados ordinários) para tentar uma regressão linear. Logo após, foi utilizado o `scipy.optimize.curve_fit` para um modelo de regressão polinomial.

Após a Fundamentação Teórica, foi feito um trabalho de conscientização com os alunos da instituição.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Desde o princípio, vimos que a motivação deste trabalho é de aplicação da estatística à sustentabilidade, mais especificamente a modelagem estatística que, segundo Gujarati e Porter (2011), é o ato de relacionar duas ou mais variáveis, em que uma ou mais variáveis independentes descrevam o comportamento médio de uma variável dependente, obedecendo uma função.

Em se tratando de eventos estudados pela Física Clássica, por exemplo, uma variável é determinada com precisão, sabe-se exatamente onde está um móvel, dada a sua velocidade e ponto de partida. No entanto, o tema se refere a variáveis estatísticas. Pela impossibilidade de se afirmar com certeza o valor central de uma variável estatística, é levado em conta o fator erro, pois é sempre algo que não pode ser completamente previsto e, por isso, chamado de aleatoriedade nos eventos (GUJARATI; PORTER, 2011).

O comportamento aleatório da variável não garante o valor central, mas, com uma margem de erro (neste trabalho, foi adotada a significância de 0.05), pode-se manter todos os resultados dentro de uma variação, e fazer boas previsões aproximadas.

A regressão linear é o ato de relacionar uma variável dependente a uma ou mais variáveis independentes, garantindo um comportamento linear (GUJARATI; PORTER, 2011).

Após a confecção e constatação da inviabilidade do modelo linear para explicação, os autores optaram por um modelo polinomial de segundo grau. Nas palavras de Zeviani,

Júnior e Bonat (p. 20, 2013):

escolher um modelo não linear dificilmente é um ato empírico, e, no presente trabalho, foi motivada tanto pela análise do gráfico de dispersão, entre as variáveis estudadas (de forma alguma, dão aspecto de comportamento linear), mas, principalmente, pela análise dos resíduos gerada pelo próprio modelo linear (os resíduos não são uniformemente distribuídos).

Em uma série de estudos, Zeviani, Júnior e Bonat (2013) ainda demonstram que muitos fenômenos não são bem descritos de forma linear, logo o estudo e a ênfase em métodos não lineares são amplamente necessários. É possível dizer, ainda, que um modelo não linear é aquele cujos parâmetros não obedecem a uma função linear (reta). Nos modelos não lineares, geralmente, o alvo é a média da variável dependente. Então, pode-se ter uma função não linear n , onde x é a variável independente e θ os parâmetros (Y é assumido como variável dependente). A relação pode ser demonstrada da seguinte forma (ZEVIANI; JÚNIOR; BONAT, 2013).

$$E(Y|\mathbf{x}) = (\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta})$$

Tendo em vista a complexidade dos cálculos, três bibliotecas da linguagem Python foram escolhidas como suporte: Pandas, statsmodels e scipy.

O *pandas* objetiva gerar um objeto que comporte os dados e tenha dinamismo na hora de operar. Os objetos gerados pelo *pandas* (dataframes) herdam inúmeros métodos que visam facilitar e elevar a linguagem de programação ao máximo (PANDAS, 2021).

A biblioteca *statsmodels.api* visa receber os dados formatados, e abreviar para o operador o processo complexo de se aplicar os mínimos quadrados ordinários (técnica muito comum de regressão linear), além de gerar um modelo, tem o método *summary*, o qual faz todos os cálculos e devolve numericamente o ajuste do modelo de regressão (*r* quadrado, *r* quadrado ajustado, relevância estatística das variáveis, análise de resíduos e etc. (PERKTOLD, p.1, 2022).

De maneira fácil e rápida, a biblioteca *scipy.optimize.curve_fit* provê o ajuste de uma curva aos dados obtidos. Vale ressaltar que a curva dificilmente irá se encaixar perfeitamente aos dados, visto que são variáveis aleatórias (COMMUNITY, 2022).

No tocante à correta destinação de materiais (cuja visibilidade foi destacada pela Organização das Nações Unidas na agenda 2030, objetivo doze, meta cinco), Vasques (2009) demonstra que o aço de obsolescência (obtido por materiais que não são mais utilizáveis) é um importante elo na cadeia de produção de novas chapas de aço. O material é removido do lixo comum a partir de eletroímãs, depois encaminhado para diversas aciarias por todo país.

No contexto ambiental, isso gera uma economia de 1140 Kg de minério bruto, 154 Kg de carvão e 18 Kg de cal por unidade (tonelada) de aço reciclado, além de evitar a coleta demasiada de minério com seus consequentes danos e, por fim, gera economia de energia. Em se tratando do impacto social, gera distribuição de renda, desde as associações de catadores até os funcionários que se beneficiam o metal reciclado (VASQUES, 2009).

4. RESULTADOS OBTIDOS

Todos os resultados obtidos foram através do tratamento de uma tabela (xlsx), posteriormente passada para um objeto do pandas, dataframe (tal tabela será omitida devido ao seu tamanho). A tabela abaixo demonstra a estatística descritiva dos dados. Tal objeto foi obtido com o método `describe()`, método nativo do pandas.

Tabela 1: Estatísticas descritivas obtidas com *pandas*

	ferramentas_dia	oficinas	usuarios
count	80.000000	80.000000	80.000000
mean	38.050000	3.012500	13.050000
std	44.052874	2.341122	11.920517
min	1.000000	0.000000	1.000000
25%	7.750000	1.000000	4.000000
50%	20.500000	2.000000	9.500000
75%	52.500000	4.250000	17.000000
max	212.000000	12.000000	43.000000

Fonte: Google Colabs (COLABS, 2022).

Logo após, foi obtido um dataframe com os índices de Correlação de Pearso. O objeto foi possível graças ao método `.corr()`, também herdado do objeto mãe dataframe.

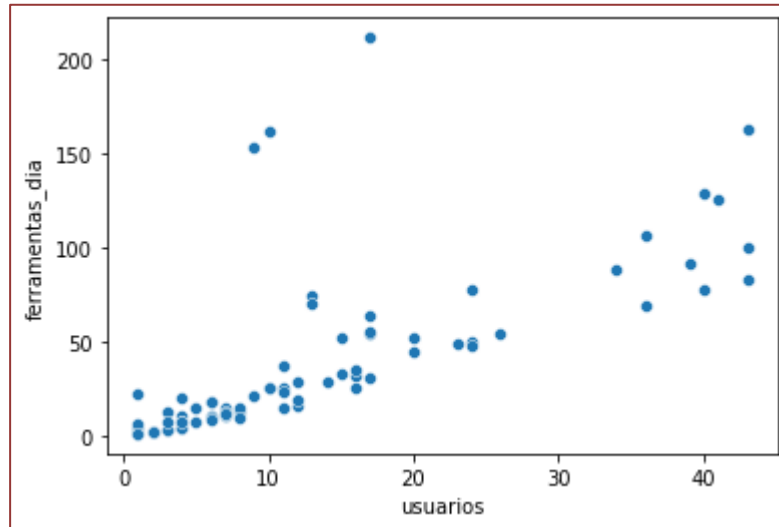
Tabela 2: Correlação de Pearson entre as variáveis

	ferramentas_dia	oficinas	usuarios
ferramentas_dia	1.000000	0.621655	0.710388
oficinas	0.621655	1.000000	0.605960
usuarios	0.710388	0.605960	1.000000

Fonte: Google Colabs (COLABS, 2022).

Após a realização da primeira análise, a variável independente `usuarios` foi selecionada para a tentativa de regressão linear, para explicar a variável dependente `ferramentas_dia`. A fim de observar o comportamento das variáveis, foi utilizado o `seaborn` para plotar um gráfico de dispersão.

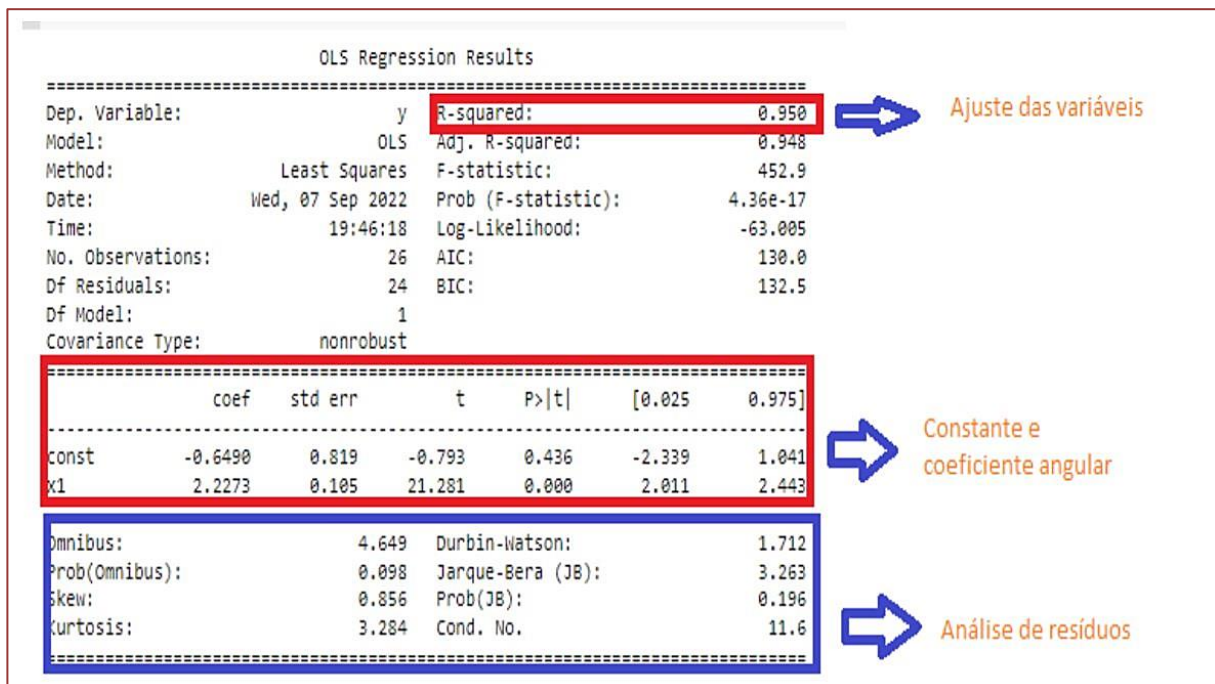
Gráfico 1: Dispersão entre as variáveis



Fonte: *Google Colabs* (COLABS, 2022).

Para os autores, não ficou claro o comportamento linear das variáveis. No entanto, devido à facilidade de utilizar a biblioteca `statsmodels.api`, resolveu-se tirar a prova utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Os dados foram alocados em um objeto do `statsmodels`, e utilizado o método `.summary()`.

Imagem 1: Sumário das variáveis segundo *statsmodels*



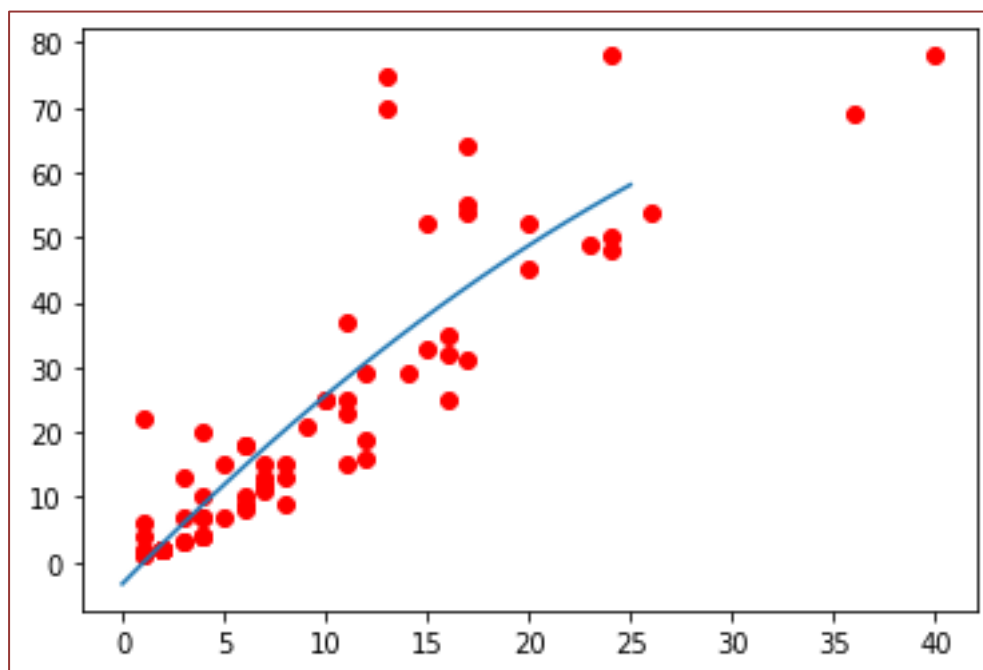
Fonte: *Google Colabs* (COLABS, 2022).

Segundo o resultado obtido, as variáveis estão bem ajustadas. Para o intercepto o valor $P > |t|$ não é relevante, pois adotada uma significância de 0.05 e seu valor p é 0.436, o que não rejeita a hipótese nula (a hipótese nula é a de que o valor estudado é igual a zero). Tal feito foi comprovado ao contrário para o coeficiente angular.

Na análise dos resíduos, pelo teste de Omnibus e Jarque-Bera, mais especificamente pelas suas variantes que indicam probabilidade (Prob(Omnibus), Prob(JB)), baixos números foram obtidos. Isso indica a baixa probabilidade dos resíduos se distribuírem de forma normal, demonstrando a impossibilidade da utilização de regressão linear.

Como segunda e última tentativa, foi feita a regressão polinomial, mais exatamente uma parábola.

Gráfico 2: Ajuste de parábola segundo as variáveis



Fonte: *Google Colabs* (COLABS, 2022).

A parábola acima demonstra a função:

$$f(x) = -0.02959354 * x^2 + 3.19817763 * x - 3.37508375$$

Tais valores foram obtidos com a inserção dos valores das variáveis no `curve_fit`, importado do `scipy.optimize`.

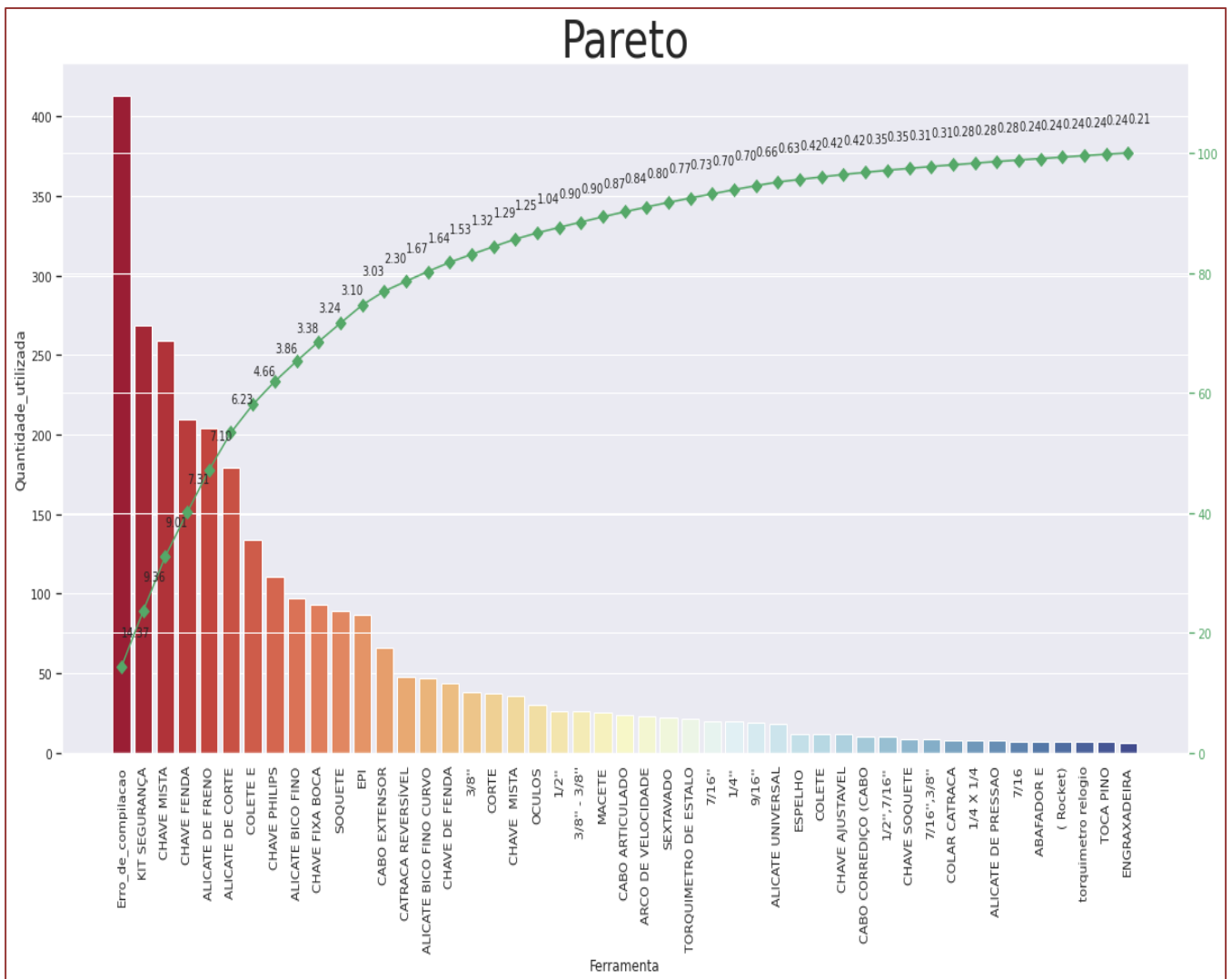
Após a realização da parte estatística, foi aproveitado parte do trabalho realizado pelos autores anteriormente. Isso se refere aos gráficos postados abaixo, com um Diagrama de Pareto indicando uso, e um gráfico de barras com as quantidades em estoque (o gráfico completo foi omitido devido ao tamanho). O objetivo é plotar as discrepâncias do material existente com o excedente.

Segundo pesquisa obtida junta a catadores de reciclados na região, constatou-se que o quilograma do aço inox custa cerca de R\$ 5 reais, e os materiais começaram a ser

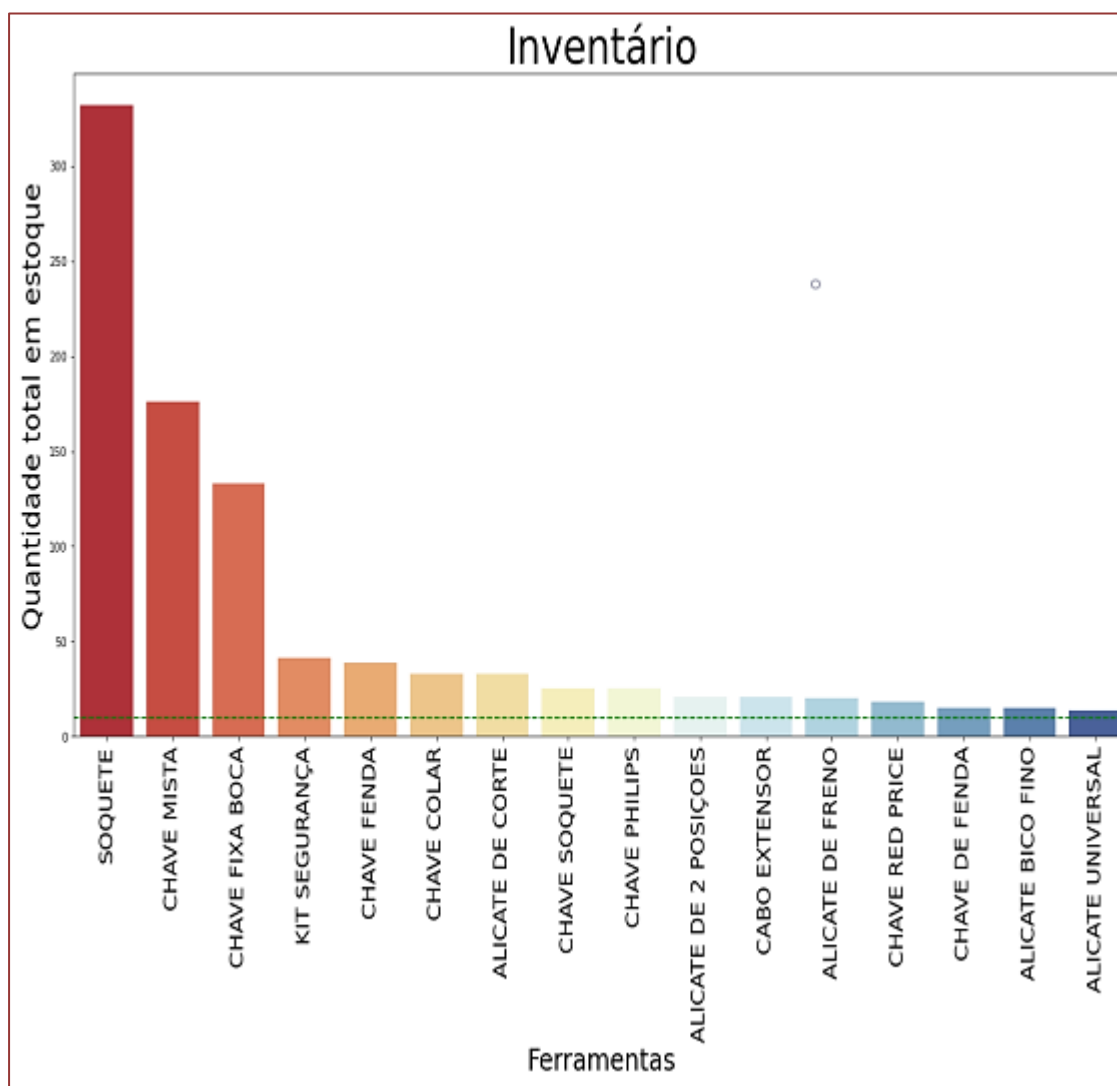
separados. O dinheiro obtido com a reciclagem será revertido em panfletos confeccionados pelos alunos sobre sustentabilidade e boa gestão de recursos escassos.

O trabalho estatístico ainda não está completo, mas será guardado para estudo posterior, pois, com eventuais mudanças de perfil das turmas (tamanho, afazeres práticos etc.), as necessidades podem divergir. É importante ter uma ferramenta de previsão, a fim de manter o ambiente em conformidade com os 4 Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e repensar) proposto pela meta 12 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

Gráfico 3: Gráfico de Pareto



Fonte: Google Colabs (COLABS, 2022).

Gráfico 4: Gráfico de barras de itens mais abundantes em estoque

Fonte: *Google Colabs* (COLABS, 2022).

5. CRONOGRAMA

A coleta de dados foi o tempo em que os autores conseguiram realizar o procedimento, tempo esse que o banco de dados foi alimentado com as informações. O primeiro tratamento deu origem ao trabalho *Tecnologia da Informação Aplicada à Prevenção de Acidentes Aeronáuticos*. O segundo tratamento deu início a esta pesquisa. Logo após, foi realizada a parte de conscientização por meio de aulas demonstrativas com os alunos. Por fim, foi realizada a coleta dos materiais para posterior venda na reciclagem.

Tabela 3: Cronograma

Descrição	Data Inicial	Data Final
Coleta dos dados	11/09/2020	29/10/2021
Primeiro tratamento	10/11/2021	17/11/2022
Segundo tratamento	15/08/2022	07/09/2022
Trabalho de conscientização	12/09/2022	14/09/2022
Coleta dos materiais	15/09/2022	16/09/2022

Fonte: Próprio autor (2022).

6. CONCLUSÃO

Foi flagrante a necessidade de melhorar a coleta de dados (muitos foram perdidos por motivos diversos), a fim de aumentar o espaço amostral, visando observar o verdadeiro comportamento das variáveis. Em vista disso, os autores não consideram o trabalho um êxito no sentido estatístico, pois há a necessidade de observações mais profundas. No entanto, envolver os alunos em práticas de sustentabilidade foi bem-sucedido. Foi percebido empenho e boa vontade no sentido de preservar e melhorar o ambiente de trabalho, e o meio ambiente.

Cabe salientar que, após a formação, tais alunos levarão a impressão e o conhecimento para disseminar em suas futuras unidades de trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] COLABS, Google. **Google Colabs**. 2022. Disponível em: <https://colab.research.google.com/drive/1QxVhDmtVRIYk153lk3qcavqPo81YolgP>. Acesso em: 17 dez. 2022.
- [2] COMMUNITY, The Scipy. **Scipy.optimize.curve_fit**. 2022. Disponível em: https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html. Acesso em: 10 set. 2022.
- [3] GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C.. **Econometria básica**. 5. ed. New York: Amhg, 2011. 918 p.
- [4] RAMPAZZO, Lino. Tipo de Pesquisa. In: RAMPAZZO, Lino. **Metodologia Científica**. 3. ed. São Paulo: Loyola, 2005. p. 51-57.
- [5] MORAES, Clauciana Schmidt Bueno de; MORETTI, João Paulo; GEROTO, Caroline Garcia. SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL: APLICAÇÃO DO PROJETO 4 R's NA GESTÃO INDUSTRIAL. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. **SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL: APLICAÇÃO DO PROJETO 4 R's NA GESTÃO INDUSTRIAL**. Porto Alegre: Abes, 2011. p. 1-5.
- [6] MORETTIN, Pedro A.; SINGER, Julio M.. **Introdução à Ciências de Dados**. 2019. 249 f. TCC (Graduação) - Curso de Estatística, Departamento de Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~jmsinger/MAE5755/cdados2019ago06.pdf>. Acesso em: 26 set. 2022.
- [7] PANDAS. Pandas.DataFrame. 2021. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.html>. Acesso em: 10 set. 2022.
- [8] PERKTOLD, Josef. **Ordinary Least Squares**. 2022. Disponível em: <https://www.statsmodels.org/dev/examples/notebooks/generated/ols.html>. Acesso em: 10 set. 2022.

[9] ONU. **Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles:** produccion y consumo responsable. Produccion y consumo responsable. 2022. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>. Acesso em: 17 dez. 2022.

[10] VASQUES, Antonio Cruz. **Estudo da Reciclagem de Metais no País:** reciclagem de metais no país. Brasília: J. Mendo, 2009. 168 p. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1i8b9_2HkdQ1It_r5uoyCdOE71003tmHa. Acesso em: 19 set. 2022.

[11] ZEVIANI, Walmes Marques; RIBEIRO JÚNIOR, Paulo Justiniano; BONAT, Wagner Hugo. **Modelos de regressão não linear.** Campina Grande: 58^o Rbras e 15^o Seagro, 2013. 109 p.

Capítulo 8

Tecnologia da Informação aplicada à prevenção de acidentes aeronáuticos

Danival Campos Nogueira Junior

Deise Cristina Silva de Oliveira Campos Nogueira

Resumo: O presente trabalho aborda a utilização de conceitos da Tecnologia da Informação aplicados a um ambiente onde se necessita de controle da entrada e saída de ferramentas voltadas à manutenção aeronáutica (com vistas à prevenção de acidentes aeronáuticos), e previsão para necessidades futuras com o objetivo de manter o correto funcionamento. Para atingir o objetivo deste trabalho, foram utilizadas, como ferramentas, um banco de dados desenvolvido no Access (para gerar planilhas, e controle de entrega e devolução das ferramentas), planilhas do *Excel* e o *Google Colabs* para fazer o tratamento dos dados obtidos. Para tratar os dados propriamente ditos, foram utilizados recursos estatísticos, sempre com o apoio da linguagem *Python* e suas bibliotecas: *Pandas*, *Seaborn*, *Numpy* e *Matplotlib pyplot*. Como metodologia, destacamos a utilização dos métodos de pesquisa exploratória e empírica aliados à pesquisa bibliográfica. O referido trabalho não ocorreu em um ambiente acadêmico e controlado, tendo em vista suprir as necessidades geradas no dia a dia. Como resultado deste trabalho, espera-se uma melhor compreensão das necessidades diárias de ferramentas específicas, assim como o seu controle de entrada e saída; afim de evitar esquecimento e possíveis acidentes (implementação da cultura de segurança), e, por fim, preparar a base de dados obtidas para a implementação futura de um algoritmo de *Machine Learning* com vistas a acertar as necessidades com base nas mudanças ocorridas com o tempo.

Palavras-chave: *Google Colabs*, Estatística, *Python*.

1. INTRODUÇÃO

A experiência inspiradora do presente trabalho se deu em uma organização de ensino, no setor de controle de entrada e saída de ferramentas voltadas à manutenção de aeronaves (conhecido, no meio, como “*Ferramentaria*”); mais especificamente, em uma escola de formação com vistas à manutenção aeronáutica. O trabalho realizado tem dois intuitos: gerar um controle de estoque, com fins de previsão de necessidades futuras, além de criar uma conscientização sobre a importância do controle de ferramentas, a fim de promover a segurança de voo e operação de aeronaves no solo. No que se refere ao arcabouço de conhecimentos utilizados, foi feito um levantamento utilizando técnicas da estatística descritiva, aplicadas por meio da ferramenta *Google Colabs* e da linguagem *Python*, com suas várias bibliotecas de apoio.

Para fins de comparação e estudo, não foi encontrado nenhum trabalho com o mesmo tema para orientação, e, dessa forma, alguns temas foram separados e serviram de norte, como Estatística descritiva, a vasta documentação de *Python* encontrada nos sites dos próprios desenvolvedores da linguagem e suas bibliotecas. Também foi utilizado, principalmente na justificativa deste trabalho, artigos científicos voltados à área de controle de estoque e prevenção de acidentes aeronáuticos.

Por fim, este trabalho busca a implementação de um rígido controle de ferramentas voltadas à manutenção de aeronaves (trabalho feito em uma escola voltada à aviação, mas extensível a qualquer organização que necessite de controle).

Como primeiro objetivo, busca-se, com o inventário completo das ferramentas, acompanhar as saídas e as devoluções diárias de ferramentas (não só a contabilidade diária, mas no que se refere às ferramentas específicas). O procedimento pode gerar uma base de dados que dê suporte a futuras aquisições, visando atender as necessidades dinâmicas do local; e também promover a segurança de voo. Como objetivo segundo, busca-se trabalhar a base de dados de forma a receber futuramente um algoritmo de *Machine Learning* para fazer previsões para futuras aquisições

2. METODOLOGIA

Foram utilizados os métodos da pesquisa exploratória e empírica, aliados à pesquisa bibliográfica. O trabalho não ocorreu em um ambiente acadêmico e controlado, tendo em vista suprir as necessidades geradas no dia a dia.

Na fase inicial do trabalho, foi necessário arrumar computadores para a instalação do Banco de dados *Access* e a retirada das planilhas *Excel* para posterior tratamento. Visto o alto preço de aquisição de máquinas novas, os autores optaram por utilizar máquinas recuperadas que foram consideradas inservíveis para uso. No entanto, com a devida manutenção, voltaram à operação normal.

Após as máquinas recuperadas, foram configuradas (com os programas *Access* e *Excel* instalados) e preparadas para a operação diária. Logo, a primeira fase de operação do sistema foi exportar as planilhas de *Excel* para o banco de dados *Access*, que portavam os dados de inventário. A partir deste procedimento, começou um breve treinamento dos operadores.

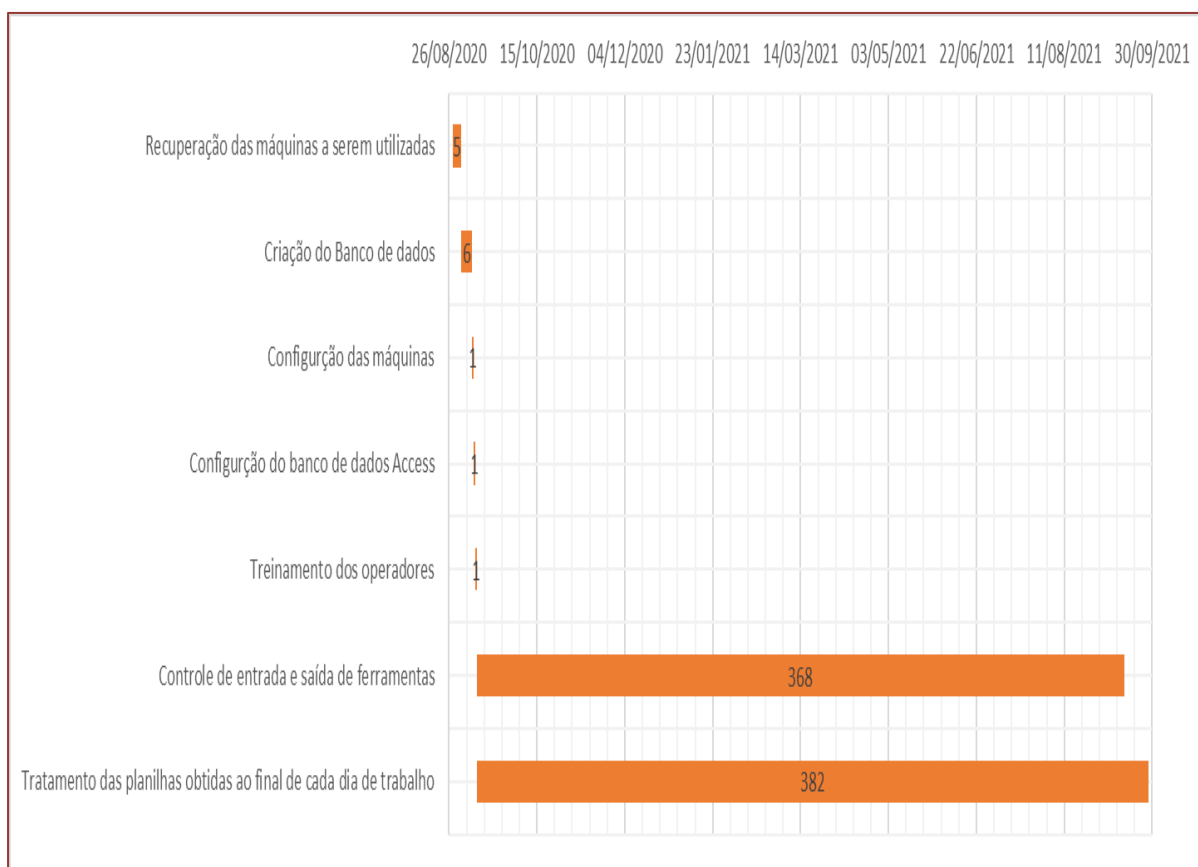
A fase de controle de entrega e devolução de ferramentas começou logo após os treinamentos. Simultaneamente à fase de controle de entregas de ferramentas, começou

a fase de tratamento das planilhas de *Excel* geradas ao final de cada dia de serviço pelo banco de dados.

Com relação à metodologia utilizada, a base de todo trabalho foi a pesquisa bibliográfica, a qual nas palavras de (Demo, 2000, p. 20) "não cria intervenção imediata no mundo concreto, mas cria condições e sustenta a intervenção futura". Tal trabalho também se faz exploratório, pois se debruça em um assunto pouco estudado, a fim de buscar padrões e, supostamente, criar uma nova metodologia a ser implementada em instalações semelhantes. Por fim, o método empírico foi utilizado, pois, no que diz (Demo, 2000, p. 21), "o método gera maior concretude às argumentações com o devido apoio de material teórico, trata da análise de fatos concretos gerados pela experiência cotidiana".

3. CRONOGRAMA

De acordo com a representação do gráfico de Gantt (JUNQUEIRA; SALOMAO; QUEIROZ; IANNONI, 2015) será apresentado um gráfico, em dias corridos, com as fases de desenvolvimento do trabalho pelo próprio autor.



Fonte: Próprio autor (2022).

Conforme gráfico acima, foram necessários cinco dias para a reparação das máquinas que foram utilizadas. Devido à simplicidade e a não necessidade de utilização de codificação em SQL (Structured Query Language, seis dias foram utilizados para a criação do banco de dados. A configuração das máquinas (instalação de *Windows* e pacote

Office), configuração do banco de dados nas máquinas, e o treinamento levaram, em cada fase, apenas um dia respectivamente. Após isso, todo o tempo foi gasto com a operação e com o tratamento dos dados obtidos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

No íterim deste trabalho, conforme constatado em pesquisa bibliográfica, um dos maiores causadores de acidentes aeronáuticos é o fator erro humano (Gomes, 2010), e, mais especificamente, o esquecimento de objetos em aeronaves (três por cento) (Gomes apud khalil, 2010). Quanto às causas do eventos causadores de acidentes, a falta de supervisão (controle de saída e entrada de itens etc.) configuram nove por cento dos eventos causadores, e a deficiência de procedimento (ligados a uma cultura inadequada) configuram quatro por cento dos eventos (Gomes apud Hobbs 2010). Os maiores produtores de erros nos sistemas de manutenção aeronáutico, conforme (Gomes, 2010), são:

- Planejamento insuficiente de trabalho, o que acarreta horas extras e desnecessárias de trabalho;
- Falta de sistemas de segurança contra erros;
- Respostas inadequadas a acidentes e incidentes anteriores;
- Gestão e comunicação insuficientes;
- Coordenação deficiente e Cultura de segurança deficiente.

Esse trabalho foi feito com o justo intuito de atacar duas dessas problemáticas: a falta de sistemas de segurança contra erro e incentivar uma saudável cultura de segurança no voo e em operações de aeronaves em solo. Nas palavras de Gomes apud Transport Canada, 2010, p. 75:

Uma cultura organizacional é definida pelo que as pessoas fazem. As decisões que as pessoas tomam nos dizem algo sobre os valores da organização. Por exemplo, o grau em que os gestores e funcionários agem em compromissos com a segurança nos diz mais do que palavras sobre quais valores motivam suas ações.

O que as pessoas fazem define a segurança de voo. Então, desde o princípio de seus estudos, todos devem ser incentivados a seguir o correto caminho com exemplos e práticas de boas maneiras. Como ferramenta primária de execução, foi feito um inventário em planilha do *Microsoft Excel*, posteriormente sendo exportada para um banco de dados feito no *Microsoft Access* (onde é feito tanto o controle de inventário, quanto as movimentações diárias de entrada e saída das ferramentas). Tais sistemas foram instalados em duas máquinas:

- **Um desktop**, placa mãe G45T-M2 com 4gb de memória principal *DDR2*, um processador dual core E5700 e 32 gb de armazenamento em *SSD, Solid State drive* (retirado de máquina sucateada e em perfeito estado de funcionamento), operando uma versão de *Windows 7 lite*. Tal placa mãe foi adquirida de sucata, como produto inservível por danos no soquete do processador. Após reparo com o auxílio de sondas e um microscópio feito pelo autor do trabalho, a máquina voltou a funcionar.

- **Um notebook** marca SIM+, com processador Intel Celeron 847 , 2 GB memória principal DDR3 e 320 de hd, *Hard Drive*. Sendo o notebook e o HD adquiridos de sucata (o HD foi retirado de outro notebook em pane, e foi constatado que estava em perfeitas condições de uso). O notebook, após extensa análise em sua placa mãe de serigrafia 71R-CU14CU4-T810, foi constatado mal funcionamento de CI de serigrafia U19 (não há detalhes de sua função, nem de especificação do chip, pois não foi encontrado esquema elétrico pertinente à placa), o que, por pesquisas realizadas de maneira empírica (sem auxílio de esquema elétrico da placa), foi consertado pelo autor do trabalho, fazendo um *“jump”*. Em outras palavras; uma ligação direta com fios devidamente soldados e isolados com cola quente; de quatro capacitores (do positivo C438 para o positivo do C443, e do positivo do C464 para o positivo do C471). A máquina também opera uma versão de *Windows 7 lite*.

Ainda no que se refere ao banco de dados, o motivo de sua utilização foi para controlar o material lá existente e evitar que, após os trabalhos, alguma ferramenta fosse esquecida em algum avião. O banco de dados gera um relatório ao final dos trabalhos que faz o cruzamento de todas as entradas e saídas, mostrando, caso algo não tenha sido devolvido.

Quanto à pesquisa bibliográfica pertinente à estocagem, podemos citar Martelli e Dandaró (2015). Em qualquer empresa, os estoques representam componentes extremamente significativos, seja sob os aspectos econômicos, financeiros ou operacionais críticos.

Além disso, há a preocupação em manter controle sob diversas variáveis que compõe o sistema (MARTELLI; DANDARO, 2015). São elas: custos para adquirir; custos para estocagem e correto atendimento das necessidades dos usuários. Após a instalação das máquinas e do banco de dados, a operação pode ser iniciada e os dados começaram a ser coletados e tratados.

Sobre o tratamento estatístico, foi feito um primeiro tratamento com o uso da estatística descritiva, sempre apoiada com a linguagem *Python* e suas bibliotecas e o ambiente do *Google Colabs*.

As variáveis tratadas são quantitativas discretas, pois, nas palavras de Barbeto (2012, p. 74), “elas podem ser listadas, assumem valores inteiros e são obtidas de uma contagem”. Para este trabalho, foram feitas duas distribuições de frequências diferentes. A primeira demonstra a distribuição de frequências de ferramentas gerais com o passar de todo o tempo observado (não foram observados detalhes, apenas números brutos).

A tabela a seguir foi retirada de um *dataframe*, estrutura básica que objetiva o trabalho com dados do pacote Pandas (PANDAS, 2021). Foram plotadas duas variáveis (quantidade de oficinas operando no dia e a quantidade usuários por dia). Todo o estudo foi feito em relação a elas com o objetivo de observar suas influências na saída de ferramentas por dia (ferramentas/dia).

A coluna desvio médio foi acrescida apenas com o intuito de demonstrar - em valores absolutos - o desvio médio do número de ferramentas/dia em relação à média.

Tabela 1: Tratamento genérico seguindo uma linha temporal

	DATA	FERRAMENTAS_DIA	OFICINAS	USUARIOS	DESVIO_MEDIO
0	2020-11-09	2	1	2	46.111111
1	2020-11-10	1	1	1	47.111111
2	2020-11-11	25	3	14	23.111111
3	2020-11-12	5	1	3	43.111111
4	2020-11-16	39	3	20	9.111111
5	2020-11-17	26	2	13	22.111111
6	2020-11-18	6	2	4	42.111111
7	2021-05-13	3	1	2	45.111111
8	2021-05-17	1	1	1	47.111111
9	2021-06-29	1	1	1	47.111111
10	2021-07-16	1	1	1	47.111111
11	2021-08-11	1	1	1	47.111111
12	2021-08-12	28	3	10	20.111111
13	2021-08-13	77	3	9	28.888889
14	2021-08-16	35	4	11	13.111111
15	2021-08-17	106	3	17	57.888889
16	2021-08-20	26	1	20	22.111111
17	2021-08-23	70	3	6	21.888889
18	2021-08-30	80	4	22	31.888889
19	2021-09-06	89	5	20	40.888889
20	2021-09-08	98	4	35	49.888889
21	2021-09-09	77	4	32	28.888889
22	2021-09-13	78	5	36	29.888889
23	2021-09-16	106	5	36	57.888889
24	2021-09-17	123	5	36	74.888889
25	2021-09-21	129	5	39	80.888889
26	2021-09-14	66	5	31	17.888889

FONTE: Próprio autor (2022).

Após a obtenção da tabela bruta, algumas observações foram feitas, mais especificamente as medidas de tendência central e dispersão. Neste trabalho, não será possível demonstrar toda a codificação devido à extensão das informações para a proposta.

Tabela 2: Medidas Centrais e separatrizes

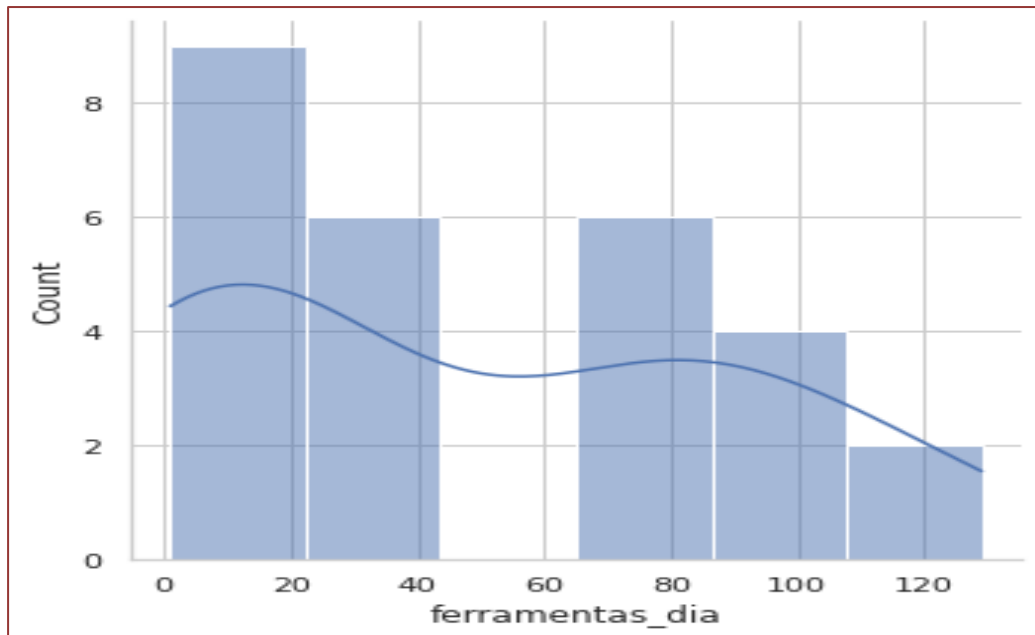
	Medidas	Valores
0	Media	48.111111
1	Mediana	35.000000
2	Desvio padrão	43.169909

Fonte: Próprio autor (2022).

Conforme Barbeta (2012), média se refere à soma de todos os valores divididos pelo tamanho do espaço amostral. A média demonstra uma tendência central, assim como a mediana que, de acordo com o autor citado, demonstra o valor central, pois metade dos valores observados se encontram antes e depois. No entanto, as medidas de tendência central, conforme Barbeta (2012), não são boas em demonstrar os extremos. Para se lidar com extremos, utiliza-se noventa e cinco por cento dos valores, sendo excluídos, os dois e meio por cento mais extremos para a direita e para a esquerda.

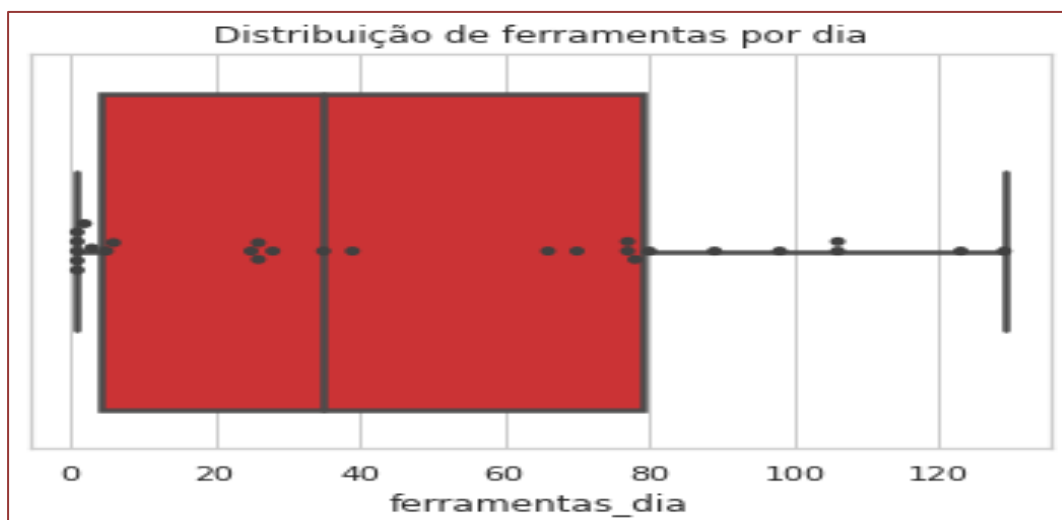
Com intuito de facilitar a visualização, o pacote *Seaborn* do *Python* fornece algumas ferramentas gráficas para serem utilizadas. Para essa primeira fase de estatísticas descritivas simples, foi utilizado o *displot* que, segundo Waskom (2021), é uma ferramenta que permite a visualização de distribuições de vários tipos.

Neste contexto, foi escolhido um histograma que, segundo Barbeta (2012), é um gráfico onde se dividem os valores por classes e retângulos são feitos cuja base representa o intervalo, e a altura representa a frequência, ou a porcentagem de incidência. Ainda segundo Barbeta (2012), a distribuição de dados simétricos (em que uma metade do gráfico é exatamente igual a outra) é muito comum em eventos físicos que refletem o mundo natural; tal simetria é muito difícil de ser alcançada em eventos criados por humanos. Como auxílio visual, foi utilizada uma linha *kde* que representa uma estimativa da densidade dos dados (WASKOM, 2021).

Gráfico 1: Histograma da quantidade de ferramentas

Fonte: Próprio autor (2022).

Para a visualização de *outliers* (pontos que se diferenciam das demais observações), ainda segundo Waskom (2021), a ferramenta *boxplot* do pacote *Seaborn* da linguagem *Python* oferece uma ferramenta visual que faz a divisão por quartis e demonstra a concentração dos dados, deixando bem nítida a incidência (ou não) de *outliers*. Ainda na mesma plotagem, como forma de ressaltar a concentração dos valores, foi utilizada a ferramenta do *swarmplot*. Nas palavras de Waskom (2021), para melhor visualização, deve ser utilizado com outra ferramenta gráfica. O *swarmplot*, o qual gera pontos, os quais ficam sobrepostos ao *boxplot*, deixando mais nítidos os valores.

Gráfico 2: *Boxplot* da distribuição da quantidade de ferramentas x dia

Fonte: Próprio autor (2022).

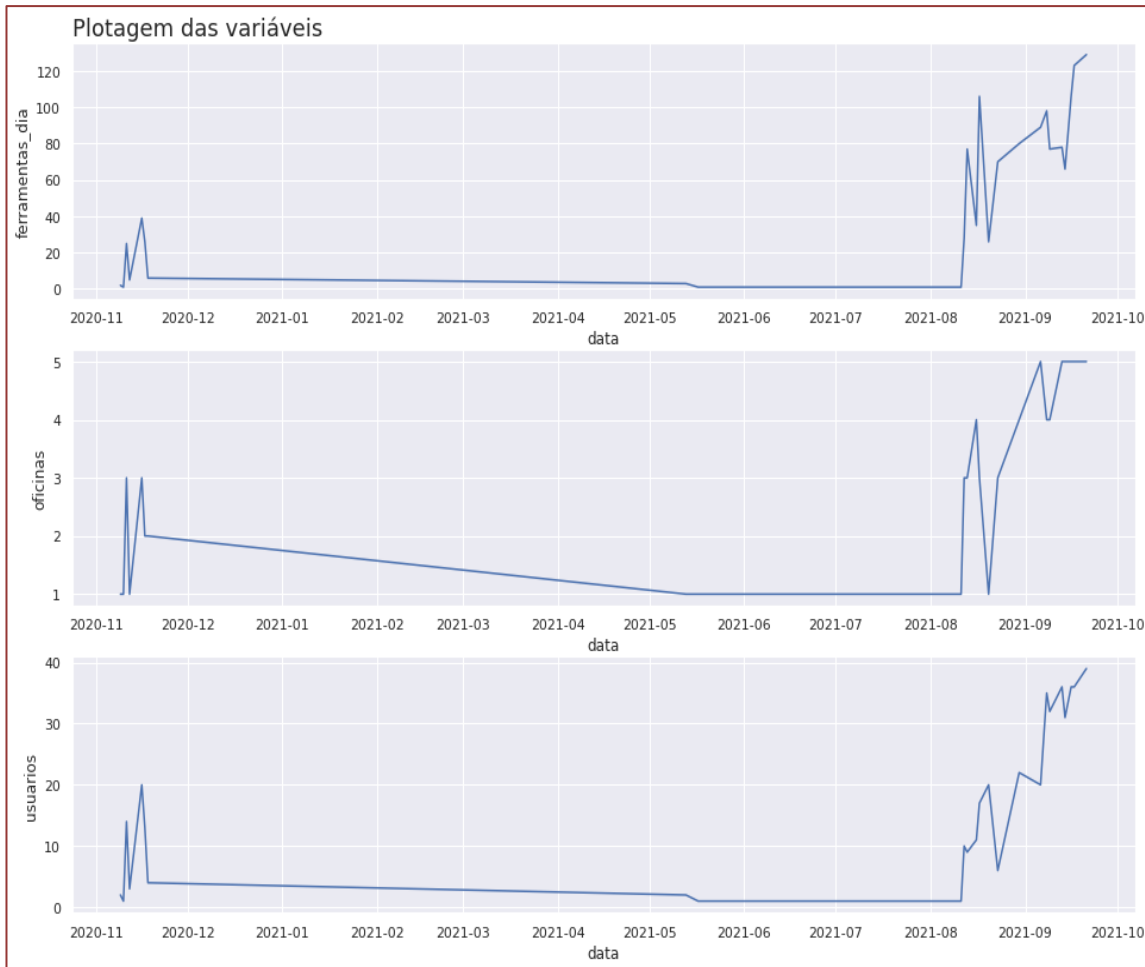
Ainda no escopo dessa primeira parte, foi feita uma série temporal que, nas palavras de Bouzada (2012), significa uma coletânea de observações feitas conforme o tempo, e que a ordem de coleta é extremamente importante, além de que as observações vizinhas são dependentes umas das outras. Ainda conforme Corrar e Theóphilo apud Bouzada (2012), os dados que constituem uma série temporal que podem sofrer alterações diversas de acordo com o ambiente. Anteriormente, foram plotadas as variáveis.

Para a construção do *plot* de variáveis, foi utilizado o pacote *matplotlib.pyplot* e *Seaborn*, mais especificamente os métodos *subplot* e o *lineplot*.

Segundo Matplotlib (2021), o método *subplot* cria uma grade em que vários gráficos podem ser postados simultaneamente. Waskom (2021) relata que o *lineplot* cria gráficos com relação aos eixos “x” e “y” nos quais podem ser inseridos uma diversidade de parâmetros.

A codificação para construção da série temporal:

```
plt.figure(figsize=(16,12))
ax = plt.subplot(3,1,1)
ax.set_title('Plotagem das variáveis',fontsize=18, loc='left')
sns.lineplot(x='data', y='ferramentas_dia', data=historico)
plt.subplot(3,1,2)
sns.lineplot(x='data', y='oficinas', data=historico)
plt.subplot(3,1,3)
sns.lineplot(x='data', y='usuarios', data=historico)
ax=ax
```


Gráfico 3: *Plot das variáveis*

Fonte: Próprio autor (2022).

Nas séries temporais, é possível perceber quatro componentes principais.

- **Sazonalidade:** Nas palavras de Bouzada (2012), "são eventos de comportamento cíclico que ocorrem de tempos em tempos, conforme mudanças externas".
- **Tendência:** conforme Bouzada (2012), com o passar do tempo, as variáveis assumem uma tendência de comportamento, seja para mais ou para menos.
- **Ciclo:** segundo Bouzada (2012) o ciclo ocorre em períodos de tempo maiores que a sazonalidade, geralmente mais extensos que um ano, mas não cria uma periodicidade que caracterize sazonalidade. Tais eventos se dão em forma de ondas em torno das tendências. Uma variável que não apresenta tendência ou sazonalidade, mesmo assim, pode apresentar um ciclo.

Componentes aleatórios: conforme Bouzada (2012), se todos os eventos citados acima forem retirados, a variação restante é denominada componentes aleatórios. É dado como evento indistinguível, diferente dos três já citados.

A resultante da Série temporal pode ser dada como:

R = Sazonalidade x Tendência x Ciclo x Componente aleatórios

Com o intuito de gerar um gráfico que demonstre os quatro componentes da série temporal, foi utilizado o pacote do *Python* chamado *statsmodels*, especialmente o método *seasonal_decompose* (PERKTOLD, 2019).

Perktold (2019) demonstra que o *statsmodels* é um pacote que auxilia trabalhos estatísticos. De forma mais específica, o *seasonal_decompose* trabalha com séries temporais, visto que possibilita a geração de gráficos com os quatro componentes de forma separada. A codificação para se chegar em um dataframe de apoio e o gráfico apresentados de forma resumida. Na codificação, os componentes aleatórios foram chamados de ruído.

```
from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose
observacao = resultado.observado
tendencia = resultado.trend
sazonalidade = resultado.seasonal
ruído = resultado.resid

data = ({'observacao':observacao, 'tendencia':tendencia,
        'sazonalidade':sazonalidade,
        'ruído':ruído})
resultado = pd.DataFrame(data)
resultado.head()
```

Tabela 3: Dataframe com dados da série temporal

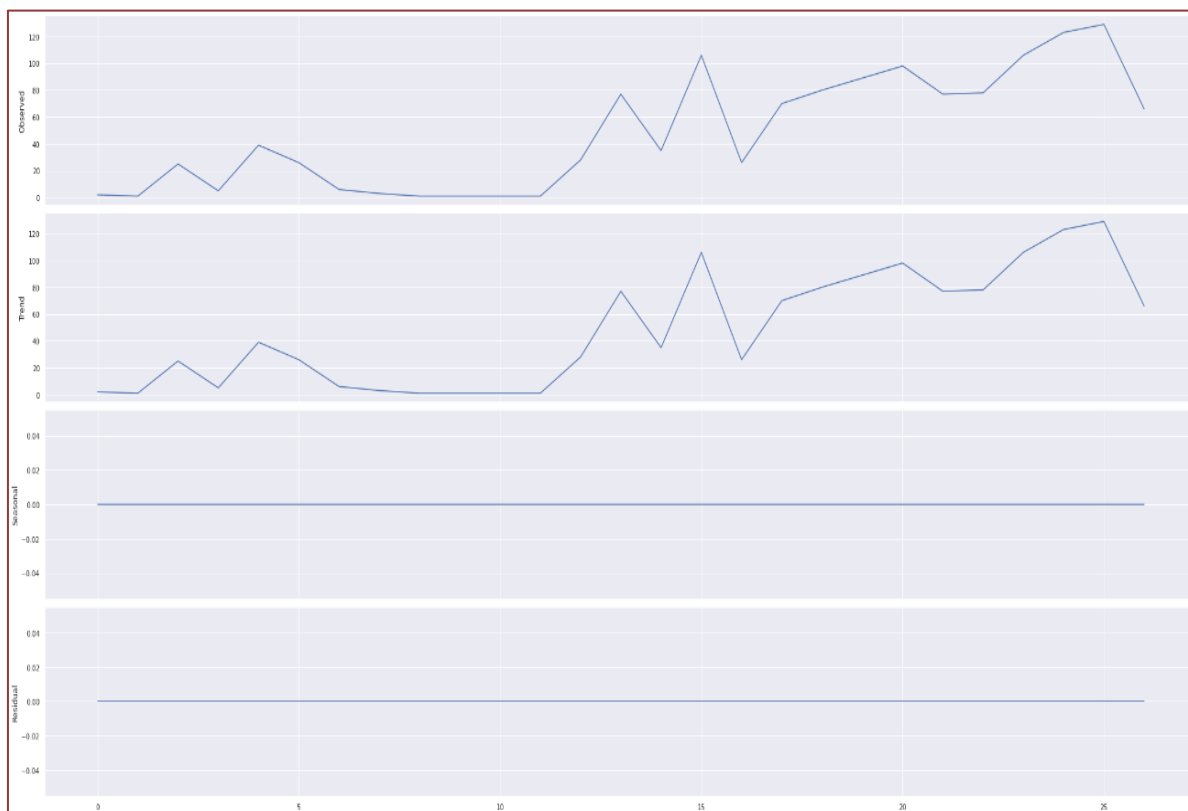
	Observacao	Tendencia	Sazonalidade	Ruido
0	2	2.0	0.0	0.0
1	1	1.0	0.0	0.0
2	25	25.0	0.0	0.0
3	5	5.0	0.0	0.0
4	39	39.0	0.0	0.0

Fonte: Próprio autor (2022).

Depois da criação do *dataframe*, com intuito de observar de forma mais explícita, foi feito o gráfico:

```
resultado = seasonal_decompose(historico['ferramentas_dia'], freq=1)
ax = resultado.plot()
```

Gráfico 4: Série temporal



Fonte: Próprio autor(2022).

No final deste estudo, foram criados dataframes de suporte e os tipos de ferramentas específicas mais utilizadas foram demonstradas. O objetivo do estudo, nesta parte, foi verificar realmente quais eram as mais utilizadas e, conseqüentemente, as que necessitam de maior acompanhamento com o objetivo de evitar problemas futuros.

	Ferramenta	Quantidade_utilizada	Percentual
0	KIT SEGURANCA	169	13.807190
1	CHAVE MISTA	156	12.745098
2	CHAVE FENDA	139	11.356209
3	ALICATE DE CORTE	131	10.702614
4	ALICATE DE FRENO	122	9.967320
5	ALICATE BICO FINO	73	5.964052
6	SOQUETE	58	4.738562
7	CHAVE PHILIPS	57	4.656863
8	CHAVE FIXA BOCA	48	3.921569
9	ALICATE BICO FINO CURVO	45	3.676471
10	CABO EXTENSOR	43	3.513072
11	CATRACA REVERSÍVEL	32	2.614379
12	CHAVE MISTA	31	2.532680
13	CHAVE DE FENDA	29	2.369281
14	MACETE	12	0.980392
15	CABO ARTICULADO	11	0.898693
16	ALICATE UNIVERSAL	10	0.816993
17	ESPELHO	9	0.735294
18	TORQUIMETRO DE ESTALO	8	0.653595
19	ARCO DE VELOCIDADE CURTO	8	0.653595
20	CHAVE FIXA DE BOCA	7	0.571895
21	CABO CORREDIÇÃO (CABO T)	7	0.571895
22	CHAVE AJUSTAVEL	7	0.571895
23	CHAVE AJUSTAVEL 6"	6	0.490196
24	CHAVE DE BOCA	6	0.490196

Fonte: Próprio autor (2022).

Para comprovar a hipótese constatada com o dataframe acima, foi feito um pequeno dataframe em que três classes foram criadas: pouco uso, médio uso e alto uso. Nessas três classes, foi separado o percentual de incidência em cada uma. Devido ao pequeno tamanho do código, aqui será colocado o mesmo.

```
menor_valor = uso_ferramentas_por_tipo['Quantidade_utilizada'].min()

maior_valor = uso_ferramentas_por_tipo['Quantidade_utilizada'].max()

classes = [menor_valor, 40, 80, maior_valor]

labels = ['pouco_uso', 'medio_uso', 'alto_uso']

tabela_de_frequencias = pd.value_counts(pd.cut(x =
uso_ferramentas_por_tipo['Quantidade_utilizada'], bins= classes, labels=labels,
include_lowest=True), normalize=True)*100

tabela_de_frequencias = tabela_de_frequencias.to_frame()

tabela_de_frequencias.columns = ['Percentual_de_uso']

tabela_de_frequencias
```

Percentual_de_uso	
Pouco_uso	56.0
Medio_uso	24.0
Alto_uso	20

O dataframe acima foi criado apenas para demonstrar que um número pequeno de ferramentas são muito utilizadas, ao passo que muitas delas são pouco utilizadas.

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram condizentes com o levantamento teórico feito e os levantamentos estatísticos básicos foram feitos com êxito. A forma como os dados foram manipulados permitiram que fossem plotados *Boxplots* (com o uso, foi percebida graficamente uma grande dispersão de valores em relação às medidas centrais), *dataframes*, histograma, plot das variáveis em relação à variável de estudo e uma série temporal.

A série temporal não rendeu os frutos esperados, pois o período de coleta de dados foi insuficiente para mostrar a criação de uma sazonalidade, e, talvez, de um ciclo. Fica evidente que o espaço amostral recolhido é ínfimo, o que se aplica à instalação de um algoritmo de *Machine Learning*.

Um resultado importante detectado é que poucas ferramentas são muito utilizadas (vinte por cento), e os oitenta por cento restantes são pouco, ou mediamente utilizadas. Isso mostra uma necessidade de reajustar os estoques. Cabe um estudo futuro para ajustar proporcionalmente cada tipo com sua porcentagem de uso, visando o pedido das que estão presentes em pouca quantidade, e a correta destinação das que são pouco, ou não utilizadas.

De forma geral, o trabalho apresentou resultados positivos, uma vez que as metas esperadas foram atingidas, exceto a série temporal que, de qualquer forma, fica o aprendizado da importância do espaço amostral correto.

6. CONCLUSÃO

Como primeiro planejamento, foi percebida a necessidade de controle de entrada e saída das ferramentas, tendo em vista a necessidade ímper de controle do local estudado. O controle em si foi implantado com sucesso.

No ínterim do banco de dados, foi aproveitado para recolher os dados e fazer um estudo estatístico básico, com vistas à implementação de um algoritmo de *Machine Learning*. A aplicação dos conceitos estatísticos básicos foi feita com sucesso. No entanto, o que faltou foi espaço amostral para implementar a série temporal e, posteriormente, um algoritmo de Regressão.

Por fim, foi descoberta a real necessidade de determinadas ferramentas, e a não necessidade de outras. Isso pode gerar um ajuste de estoque, visando pedidos futuros, e a destinação correta de outras não necessárias. Para melhorar o processo, fica como aprendizado a necessidade de uma maior observação e coleta de um espaço amostral robusto.

REFERÊNCIAS

- [1] BARBETA, Pedro Alberto. **ESTADÍSTICA APLICADA ÀS CIÊNCIAS SOCIAIS**. 8. ed. Florianópolis: Ufsc, 2012. 306 p.
- [2] BOUZADA, Marco Aurélio Carino. Aprendendo Decomposição Clássica: Tutorial para um Método de Análise de Séries Temporais. **Tac**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 1-18, jun. 2012.
- [3] DEMO, Pedro. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, 2000.
- [4] GOMES, Matos Ferreira Santos Gomes Filander de Matos Ferreira Santos. **Factores Humanos em Manutenção de Aeronaves**. 2010. 139 f. TCC (Graduação) - Curso de Nharía Aeronáutica, Engenharia, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2010. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3655/1/Factores%20Humanos%20em%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20de%20Aeronaves.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.
- [5] JUNQUEIRA, Murilo Nascimento; SALOMAO, Silvana; QUEIROZ, Geandra Alves; IANNONI, Joao Ricardo. UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA GRÁFICO DE GANTT NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS DE FRANCA-SP. In: XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1., 2015, Fortaleza. **Perspectivas Globais para a Engenharia de Produção**. Fortaleza: Abrepro, 2015. p. 1-15. Disponível em: https://abrepro.org.br/biblioteca/TN_STP_206_221_28526.pdf. Acesso em: 06 jan. 2022.

- [6] MARTELLI, Leandro Lopez; DANDARO, Fernando. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE ESTOQUE NAS ORGANIZAÇÕES. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 11, n. 02, p. 170-185, 06 jan. 2015.
- [7] MATPLOTLIB. **Subplots**. 2021. Disponível em: https://matplotlib.org/stable/gallery/subplots_axes_and_figures/subplots_demo.html. Acesso em: 06 jan. 2022.
- [8] PANDAS. **Pandas.DataFrame**. 2021. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.html>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- [9] PERKTOLD, Josef. **Statsmodels.tsa.seasonal.seasonal_decompose**. 2019. Disponível em: https://www.statsmodels.org/stable/generated/statsmodels.tsa.seasonal.seasonal_decompose.html. Acesso em: 06 jan. 2022.
- [10] WASKOM, Michael. **Seaborn.displot**. 2021. Disponível em: <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.displot.html>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- [11] WASKOM, Michael. **Seaborn.boxplot**. 2021. Disponível em: <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.boxplot.html>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- [12] WASKOM, Michael. **Seaborn.swarmplot**. 2021. Disponível em: <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.swarmplot.html>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- [13] WASKOM, Michael. **Seaborn.lineplot**. 2021. Disponível em: <https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.lineplot.html>. Acesso em: 05 jan. 2022.

Capítulo 9

Correção de erros gramaticais em inglês: um mapeamento das abordagens de Inteligência Artificial disponíveis

Elayne Rute Lessa Lemos

Rosalvo Ferreira de Oliveira Neto

Resumo: O inglês, um dos idiomas mais utilizados globalmente, demanda eficiência na escrita. Estudantes de língua inglesa amplamente se beneficiam de soluções automatizadas para a verificação gramatical. Denominados sistemas de Correção de Erros Gramaticais, essas soluções visam analisar textos em busca de erros, corrigindo-os sem alterar o sentido original. Este artigo realiza um mapeamento das principais abordagens encontradas na literatura para o desenvolvimento dessas soluções. Os pontos fortes e fracos de cada abordagem são destacados, fornecendo uma visão crítica das opções disponíveis. Ao examinar criticamente o campo das Correções de Erros Gramaticais, este artigo contribui para uma compreensão mais aprofundada dos algoritmos disponíveis, facilitando a escolha informada e eficaz dessas soluções por estudantes e profissionais.

Palavras Chave: Correção de Erros Gramaticais em Inglês, Processamento de Linguagem Natural, Aprendizagem de Máquina, Inteligência Artificial.

1. INTRODUÇÃO

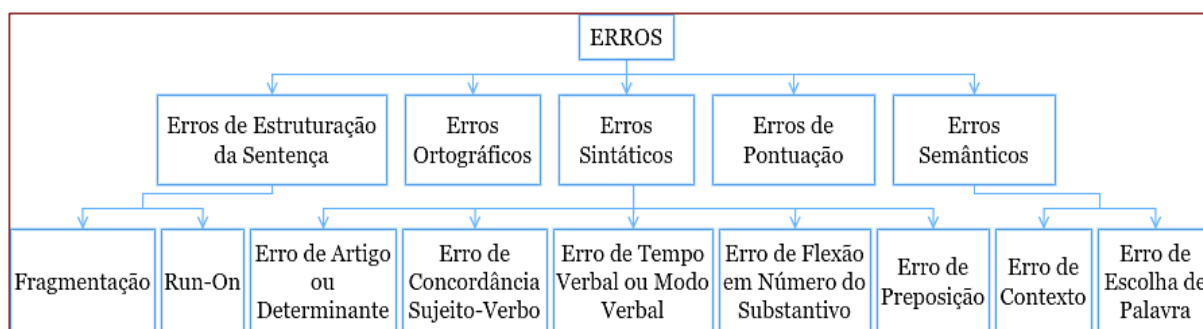
É notória a relevância que a aprendizagem de idiomas tem tomado no mundo, sobretudo a partir da aproximação gerada com os avanços em comunicação. Nesse cenário, a língua inglesa se mostra particularmente expressiva. Sendo o idioma mais estudado no mundo, a quantidade de falantes não-nativos do inglês é quase três vezes maior que a de nativos (ETHNOLOGUE, 2021), e, ainda, mais de 50% dos periódicos técnicos e científicos são publicados em inglês (SHI-XU; PRAH; PARDO, 2016). Sabe-se também que mais de 600 milhões de pessoas que aprendem e utilizam Inglês como Segunda Língua (ESL, *English as a Second Language*) ou Inglês como Língua Estrangeira (EFL, *English as a Foreign Language*) (SONI; THAKUR, 2018). Assim, estudantes de Língua Inglesa (ELL, *English Language Learners*) no geral, beneficiam-se fortemente de uma solução que automatiza a verificação gramatical da língua (NG et al., 2014). Obtendo, dessa forma, um *feedback* rápido e contínuo, contribuindo para uma melhoria na sua escrita (AILANI; DALVI; SIDDAVATAM, 2019).

Nesse contexto, Correção de Erros Gramaticais (do inglês *Grammatical Error Correction*, GEC) é considerada uma tarefa de Processamento de Linguagem Natural que objetiva a identificação e a correção automatizadas de erros gramaticais (de sintaxe ou de semântica) em textos escritos. Uma solução de GEC recebe um texto, analisa-o em busca de erros e os corrige mantendo o seu sentido original e não alterando entradas que não possuam erros, retornando por fim o resultado (RAHEJA; ALIKANIOTIS, 2020) podendo ser associada tanto a aplicações cotidianas, como quando utilizamos editores de texto para a escrita de trabalhos ou quando no envio de e-mails e recebemos sugestões de correção de erros cometidos; quanto à execução de tarefas mais complexas, quando pensamos na automação de tarefas repetitivas ou mesmo quando os recursos humanos são limitados e é necessária a revisão de textos longos, a exemplo de livros (SONI; THAKUR, 2018). Este artigo realiza um mapeamento das principais abordagens encontradas na literatura para o desenvolvimento dessas soluções e destaca os pontos fortes e fracos de cada uma.

O restante do artigo está organizado como segue. A seção 2 apresenta a classificação de erros gramaticais em inglês. A seção 3 descreve as abordagens de construção de um sistema GEC. Por fim, a seção 4 conclui o trabalho.

2. CLASSIFICAÇÃO DE ERROS GRAMATICAIS EM INGLÊS

Segundo Hornby (1995), a gramática de um idioma compõe as regras determinadas para transformar palavras e combiná-las em sentenças. Um erro é considerado um desvio notável nas regras gramaticais conhecidas por um falante nativo e, no contexto do aprendizado de idiomas, reflete a competência do aprendiz. Os erros gramaticais podem se originar de diversas maneiras, notadamente: transferência interlingual, reprodução de estruturas conhecidas do idioma nativo para o idioma alvo; transferência intralingual, generalização de estruturas conhecidas do idioma alvo; contexto de aprendizagem, quando o ambiente de aprendizagem leva à consolidação equivocada de conceitos; estratégias de comunicação, associado à inserção de conceitos verbal ou não (RISTIYANI, 2011). Soni e Thakur (2018) propôs classificarmos os erros gramaticais na língua inglesa para a tarefa de GEC nos cinco grupos explorados a seguir: Erros de Estruturação da Sentença, Erros Ortográficos, Erros Sintáticos, Erros de Pontuação e Erros Semânticos. A Figura 1 resume essa classificação.

Figura 1 - Taxonomia dos os erros gramaticais na língua inglesa

2.1. ERRO DE ESTRUTURAÇÃO DA SENTENÇA

A estrutura de uma sentença refere-se a como as diferentes Partes do Discurso (POS, *Part of Speech*) nela se organizam para estabelecimento de um sentido no texto. As sentenças mal formadas podem ser subdivididas na classificação a seguir proposta por (SONI; THAKUR, 2018):

a) Fragmentação: uma sentença em que falta o sujeito (obrigatório no inglês), ou um verbo finito ou ambos; ou ainda quando existe uma oração dependente de outra que não existe (YEUNG; LEE, 2015). Exemplo de erros gramaticais de fragmentação:

Wants to go.

[Sujeito ausente]

A fair little girl under a tree.

[under a tree -> is under a tree]

Because he is ill.

[Oração principal ausente da oração dependente iniciada com "because"]

b) Run-Ons: uma sentença com duas orações independentes sem elemento de conexão (como uma conjunção) ou pontuação entre elas. Exemplo de erros gramaticais de Run-Ons:

I ran fast missed the train.

[Conjunção adversativa ausente, exemplo "but"]

2.2. ERRO DE PONTUAÇÃO

O erro de pontuação refere-se à falta ou ao excesso de um caractere de pontuação. Exemplo de erros gramaticais de pontuação:

He lost lands money reputation and friends.

[lands, money, reputation and friends]

How are you? Mohan?

[How are you, Mohan?]

2.3. ERRO SINTÁTICO

Qualquer erro que viole as regras gramaticais do inglês é chamado de erro sintático. Os erros de sintaxe podem ser de vários tipos, que acontecem a depender da relação inerente entre as palavras de uma frase:

a) **Erro de artigo ou determinante:** quando na frase falta um artigo ou determinante, ou ainda quando são utilizados erradamente. Exemplo de erros gramaticais de artigo ou determinante:

Book you want is out of print.

[Book is -> The book is]

He returned after a hour.

[hour -> an hour]

b) **Erro de concordância sujeito-verbo:** quando na frase há um verbo que não concorda em número ou pessoa com o sujeito. Exemplo de erros gramaticais de concordância sujeito-verbo:

He am not to blame.

[Sujeito "he", terceira pessoa do singular; verbo "am", primeira pessoa do singular]

People is not on good terms.

[Sujeito "people", terceira pessoa do plural; verbo "is", terceira pessoa do singular]

c) **Erro de tempo verbal ou modo verbal:** quando é utilizado um tempo ou modo verbal diferente do pretendido. Exemplo de erros gramaticais de tempo verbal ou modo verbal:

She leaves school last year.

[leaves -> left, "last year" indica evento concluído no passado]

The boys are play hockey.

[play -> playing, o evento corrente demanda a forma do gerúndio]

d) **Erro de flexão em número do substantivo:** quando na frase há substantivos incontáveis ou de massa na forma do plural, já que em inglês esses não devem ser flexionados em número. Exemplo de erros gramaticais de flexão em número do substantivo:

He paid a sum of money for the informations.

[informations -> information]

The sceneries here are very good.

[sceneries -> scenery; are -> is]

e) **Erro de preposição:** quando na frase acontece a má colocação quanto ao tipo de preposição ou quando uma preposição necessária está ausente. Exemplo de erros gramaticais de preposição:

He sat a stool.

[sat a -> sat on a]

He has recovered of his illness.

[of -> from]

2.4. ERRO SEMÂNTICO

Existem ainda, sentenças que não incorreram em violações de regras gramaticais da língua inglesa, e ainda assim são esvaziadas de sentido ou absurdas. A isso chama-se erro semântico, que pode ser:

a) **Erro de contexto:** quando uma palavra digitada incorretamente é uma palavra real no idioma, ela não é detectada como um erro de ortografia, e não se encaixa no contexto fornecido, tais erros são chamados de erros contextuais (BIGERT et al., 2005). Exemplo de erros gramaticais de contexto.

Our team is better then theirs.

[then -> than, o contexto dá ideia de comparação]

The jury were divided in there opinions.

[there opinions -> their opinions]

b) **Erro de escolha de palavra:** quando na frase é empregada uma palavra que muitas vezes não é usada no contexto dado. Exemplo de erros gramaticais de escolha de palavra:

A group of cattle is passing.

[A group of cattle -> A herd of cattle]

I am going to the library to buy a book.

[library -> bookstore]

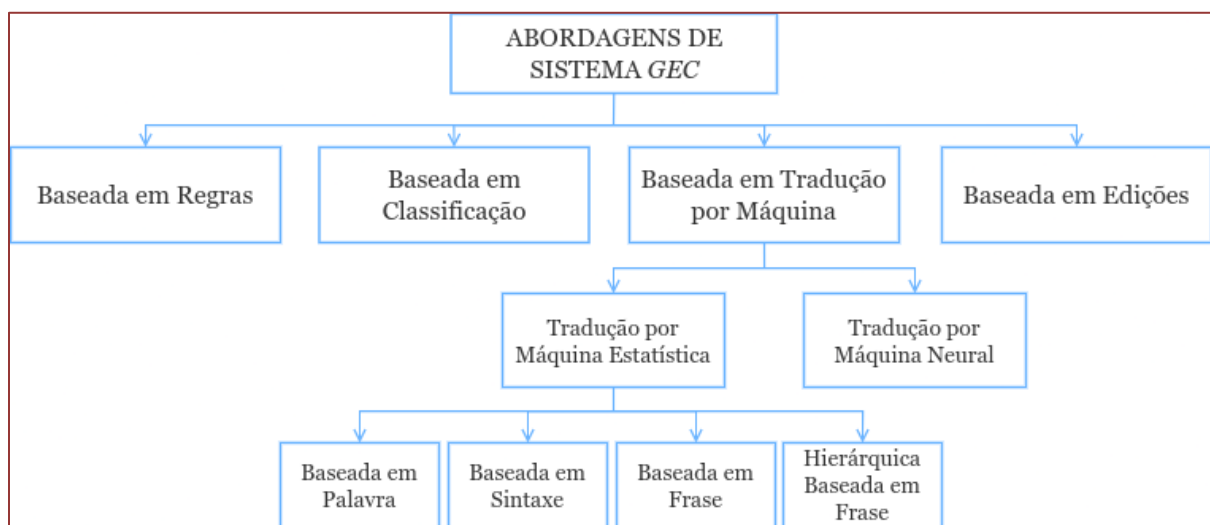
3. ABORDAGENS DE CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA GEC

A Figura 2 exibe as principais abordagens de construção de uma solução GEC. Existem ainda abordagens mistas, que têm sido empregadas com o objetivo de trazer mais eficiência e resolver problemas específicos em GEC. A seguir cada uma dessas abordagens serão descritas.

3.1. ABORDAGEM BASEADA EM REGRAS

Dentre as abordagens para a construção de soluções GEC, a abordagem baseada em regras é considerada o ponto de partida tendo os primeiros estudos publicados no final do século passado a partir de Park, Palmer e Washburn (1997) com regras completamente codificadas pela pessoa programadora endereçando um conjunto pequeno de erros. Nessa abordagem, o sistema de GEC recebe o texto a ser analisado e corrigido, esse passa pela conversão em *POS-Tag* para então ser analisado por um Parser que contém as regras gramaticais definidas e codificadas previamente e aplica as devidas correções (AILANI; DALVI; SIDDAVATAM, 2019). Assim, um texto é considerado errado se alguma das regras é disparada. Essa abordagem se mostrou de mais fácil implementação e compreensão, além de permitir *feedback* instantâneo da escrita e permitir a adição de regras de maneira incremental. Em contrapartida, a abordagem é bastante limitada quando se lida com a correção de erros mais complexos, demonstrando dificuldade de generalização, bem como necessidade de descrição extensiva das regras gramaticais (MADI; AL-KHALIFA, 2018).

Figura 2 - Taxonomia das abordagens de construção de uma solução GEC



3.2. ABORDAGEM BASEADA EM CLASSIFICAÇÃO

Na abordagem baseada em classificação, são utilizados algoritmos de aprendizagem de máquina, em que as palavras ou alterações propostas no texto constituem as classes e as palavras próximas, e *POS-Tag* são as variáveis de entrada. Cada classificador é capaz de detectar e corrigir apenas um tipo específico de erro, no entanto, essa questão pode ser mitigada pelo encadeamento de múltiplos classificadores (ROZOVSKAYA et al., 2013). Um avanço considerável em comparação à abordagem baseada em regras, foi a automação e independência de grandes bases de conhecimento. Entretanto, apresenta uma deficiência em lidar com erros relacionados ao contexto (HAN; CHODOROW; LEACOCK, 2004), além de ter se mostrado ineficiente no casos de erros interdependentes (AILANI; DALVI; SIDDAVATAM, 2019).

3.3. ABORDAGEM BASEADA EM TRADUÇÃO POR MÁQUINA

Na abordagem de Tradução por Máquina, o texto de entrada é "traduzido" para uma versão gramaticalmente correta a partir de bases de dados paralelas com erros codificados (BROCKETT; DOLAN; GAMON, 2006). Essa abordagem pode ser dividida em: *Hierarchical phrase-based translation* (CHIANG, 2007), *Syntax-based translation* (YAMADA; KNIGHT, 2001), *Phrase-based translation* (JUNCZYS-DOWMUNT; GRUNDKIEWICZ, 2016) e *Word-based translation* (KNIGHT, 1999). Ao contrário dos classificadores ou os sistemas baseados em regras construídos para endereçar um conjunto limitado de erros, como erros de determinante ou de preposição, a abordagem de Tradução por Máquina é treinada para lidar com todos os tipos de erro simultaneamente (YUAN; BRISCOE; FELICE, 2016). Entretanto, essa abordagem ainda apresenta um limite de eficiência associada à dependência de contexto que apenas grandes volumes de dados paralelos podem atender (AILANI; DALVI; SIDDAVATAM, 2019).

3.4. ABORDAGEM BASEADA EM EDIÇÕES

Na abordagem baseada em edições, destaca-se uma abordagem distinta em relação aos modelos de tradução por máquina, divergindo pela ausência de uma conversão integral da sentença de origem, comum em tarefas tradicionais de tradução (FLACHS; STAHLBERG; KUMAR, 2021). Os Modelos Baseados em Edições focam exclusivamente nas correções necessárias, utilizando cinco operações básicas: copiar, anexar, excluir, substituir e modificar maiúsculas/minúsculas dos tokens. Em um exemplo prático, ao corrigir a sentença de entrada "fowler fed dog", as abordagens de edições prevêm instruções específicas: Capitalize o <token 1>, Anexe (the) ao <token 2>, Copie o <token 3> (AWASTHI et al., 2019). Essa metodologia singular visa otimizar a eficácia das correções gramaticais, concentrando-se apenas nas modificações necessárias, resultando em um enfoque mais preciso e eficiente na melhoria do texto. A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo entre as abordagens para construção de um GEC.

Tabela 1 - Resumo comparativo entre as abordagens encontradas na literatura

Abordagem	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Baseada em regras	Permitir feedback instantâneo da escrita e permitir a adição de regras de maneira incremental	Dificuldade de generalização e necessidade de descrição extensiva das regras gramaticais
Baseada em classificação	Independência de grandes bases de conhecimento	Deficiência em lidar com erros relacionados ao contexto
Tradução por Máquina	Lidar com todos os tipos de erro simultaneamente	Limite de eficiência associada à dependência de contexto
Baseada em edições	Eficiente em relação ao contexto	Dependência de bases de dados com milhares de exemplos

4. CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou uma análise abrangente das abordagens de Inteligência Artificial na Correção de Erros Gramaticais em inglês. Duas estratégias se destacaram no estudo: 1) A abordagem baseada em edições, que demonstrou a melhor precisão, concentrando-se exclusivamente nas correções necessárias e otimizando a eficácia ao direcionar modificações essenciais. 2) A baseada em regras oferece *feedback* instantâneo ao usuário. Considerando essas descobertas, uma sugestão direcionada seria a utilização híbrida dessas abordagens, capitalizando na precisão da primeira e no *feedback* da segunda. Esse equilíbrio pode proporcionar um sistema mais eficiente e versátil para a correção gramatical. Por fim, este mapeamento proporciona uma visão crítica, capacitando estudantes e profissionais a fazer escolhas informadas na implementação de soluções de GEC. O constante avanço neste campo promete aprimorar a qualidade da escrita em inglês, proporcionando *feedback* preciso e contínuo para uma comunicação mais eficaz e refinada.

REFERÊNCIAS

- [1] AILANI, S.; DALVI, A.; SIDDAVATAM, I. Grammatical Error Correction (GEC): Research Approaches till now. **International Journal of Computer Applications**, v. 178, n. 40, p. 1-3, 2019. Citado 4 vezes nas páginas 1, 5 e 6.
- [2] AWASTHI, A. et al. Parallel iterative edit models for local sequence transduction. **EMNLP-IJCNLP 2019 - 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and 9th International Joint Conference on Natural Language Processing, Proceedings of the Conference**, p. 4260-4270, 2019. Disponível em: <<https://aclanthology.org/D19-1435>>. Citado na página 6.
- [3] BIGERT, J. et al. Unsupervised evaluation of parser robustness. **Lecture Notes in Computer Science**, Springer, Berlin, Heidelberg, v. 3406, p. 142-154, 2005. ISSN 03029743. Disponível em: <<https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30586->

6.14<https://core.ac.uk/download/pdf/11433325.pdf>>. Citado na página 4.

- [4] BROCKETT, C.; DOLAN, W. B.; GAMON, M. Correcting ESL errors using phrasal SMT techniques. **COLING/ACL 2006 - 21st International Conference on Computational Linguistics and 44th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference**, v. 1, p. 249–256, 2006. Citado na página 5.
- [5] CHIANG, D. Hierarchical Phrase-Based Translation. **ACL - Association for Computational Linguistics**, v. 33, n. 2, p. 201—228, 2007. Disponível em: <<http://www.nist.gov/speech/tests/mt/mt05eval>>. Citado na página 5.
- [6] ETHNOLOGUE. **What is the most spoken language?** 2021. Website. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20220129070658/https://www.ethnologue.com/guides/most-spoken-languages>>. Citado na página 1.
- [7] FLACHS, S.; STAHLBERG, F.; KUMAR, S. Data Strategies for Low-Resource Grammatical Error Correction. **Proceedings of the 16th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications**, p. 117–122, 2021. Disponível em: <<https://www.aclweb.org/anthology/2021.bea-1.12>>. Citado na página 6.
- [8] HAN, N. R.; CHODOROW, M.; LEACOCK, C. Detecting errors in english article usage with a maximum entropy classifier trained on a large, diverse corpus. **Proceedings of the 4th International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2004**, p. 1625–1628, 2004. Disponível em: <<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.683.4588&rep=rep1&type=pdf>>. Citado na página 5.
- [9] HORNBY, A. S. **Oxford advanced learner's dictionary of current English**. Oxford, England: Oxford University Press, 1995. ISBN 9780194314329. Citado na página 2.
- [10] JUNCZYS-DOWMUNT, M.; GRUNDKIEWICZ, R. Phrase-based machine translation is state-of-the-art for automatic grammatical error correction. In: **EMNLP 2016 - Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings**. Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2016. p. 1546–1556. ISBN 9781945626258. Disponível em: <<http://aclweb.org/anthology/D16-1161>>. Citado na página 5.
- [11] KNIGHT, K. Squibs and discussions: Decoding complexity in word-replacement translation models. **Computational Linguistics**, v. 25, n. 4, p. 606–615, 1999. ISSN 08912017. Disponível em: <<https://aclanthology.org/J99-4005>>. Citado na página 5.
- [12] MADI, N.; AL-KHALIFA, H. S. Grammatical error checking systems: A review of approaches and emerging directions. **2018 13th International Conference on Digital Information Management, ICDIM 2018**, IEEE, p. 142–147, 2018. Citado na página 5.
- [13] NG, H. T. et al. The CoNLL-2014 Shared Task on Grammatical Error Correction. **Proceedings of the Eighteenth Conference on Computational Natural Language Learning: Shared Task**, Association for Computational Linguistics, p. 26–27, 2014. Disponível em: <<https://aclanthology.org/W14-1701>>. Citado na página 1.
- [14] PARK, J. C.; PALMER, M.; WASHBURN, G. An English grammar checker as a writing aid for students of English as a second language. p. 24, 1997. Citado na página 4.
- [15] RAHEJA, V.; ALIKANIOTIS, D. Adversarial grammatical error correction. **Findings of the Association for Computational Linguistics Findings of ACL: EMNLP 2020**, p. 3075–3087, 2020. Citado na página 1.
- [16] RISTIYANI, T. **A Grammatical Error Analysis of the Students' Writing of Reporting a School of the Eleventh Year Students of SMA Negeri 1 Semin in 2011**. [S.l.]: Widya Dharma University. Klaten, Indonesia, 2011. Citado na página 2.
- [17] ROZOVSKAYA, A. et al. The University of Illinois System in the CoNLL-2013 shared task. **CoNLL 2013 - 17th Conference on Computational Natural Language Learning, Proceedings of the Shared Task**, p. 13–19, 2013. Citado na página 5.
- [18] SHI-XU, S.-x.; PRAH, K.; PARDO, M. **Discourses of the Developing World: Researching properties, problems and potentialsof the developing world**. [S.l.: s.n.], 2016. 88 p. ISBN

9781315780450. Citado na página 1.

[19] SONI, M.; THAKUR, J. S. A Systematic Review of Automated Grammar Checking in English Language. **ArXiv**, 2018. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1804.00540>>. Citado 4 vezes nas páginas 1 e 2.

[20] YAMADA, K.; KNIGHT, K. A syntax-based statistical translation model. **Association for Computational Linguistics (ACL)**, p. 523–530, 2001. Disponível em: <<https://aclanthology.org/P01-1067>>. Citado na página 5.

[21] YEUNG, C. Y.; LEE, J. Automatic detection of sentence fragments. **ACL-IJCNLP 2015 - 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing of the Asian Federation of Natural Language Processing, Proceedings of the Conference**, v. 2, p. 599–603, 2015. Disponível em: <www.grammarly.com>. Citado na página 2.

[22] YUAN, Z.; BRISCOE, T.; FELICE, M. Candidate re-ranking for smt-based grammatical error correction. **Proceedings of the 11th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications, BEA 2016 at the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, NAACL-HLT 2016**, Association for Computational Linguistics (ACL), p. 256–266, 2016. Disponível em: <<https://aclanthology.org/W16-0530>>. Citado na página 6.

Capítulo 10

Evolução da compatibilidade da blenda BIOPE/ABS por meio da incorporação do copolímero SEBS

Lucas Cordeiro de Oliveira

Maria Eduarda Barbosa Araújo

Valmar da Silva Severiano Sobrinho

Flávio Urbano da Silva

Bruna Naiara Silva de Oliveira Almeida

Luzidelson Baracho Ribeiro

Carlos Bruno Barreto Luna

João Baptista da Costa Agra de Melo

Renate Maria Ramos Wellen

Edcleide Maria Araújo

Resumo: O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) foi testado como um modificador de impacto para a produção de blendas à base de biopolietileno (BioPE), utilizando como agente de compatibilização o copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno (SEBS). As blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS foram processadas em uma extrusora de dupla rosca corrotacional e, subsequentemente, moldadas por injeção. As propriedades de reometria de torque, índice de fluidez (MFI), resistência ao impacto, resistência à tração, dureza Shore D, temperatura de deflexão térmica (HDT), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e força atômica (AFM) foram avaliadas. Adicionando 10% de SEBS à blenda BioPE/ABS, o torque aumentou e o MFI diminuiu de forma mais proeminente, sugerindo um aumento na viscosidade e uma melhoria na compatibilidade das propriedades mecânicas. A blenda BioPE/ABS/SEBS (10 %) aumentou a resistência ao impacto e o alongamento na ruptura em 71% e 670%, respectivamente, em comparação com BioPE/ABS. Houve uma manutenção das propriedades de resistência ao impacto, resistência à tração e da dureza Shore D para a blenda BioPE/ABS/SEBS (10 %), em relação ao BioPE puro. No entanto, o módulo elástico e a HDT aumentaram, sugerindo uma maior rigidez e estabilidade termomecânica. A análise morfológica por meio de AFM e MEV revelou uma estrutura típica de blendas imiscíveis, com separação de fases. Os resultados indicam que novas blendas de BioPE/ABS/SEBS (70/20/10 %) podem ser produzidas com características adaptadas para aplicações específicas.

Palavras-chave: biopolietileno, ABS, compatibilizante, blendas poliméricas, propriedades mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, os setores de transformação e produção de plásticos têm se dedicado ao desenvolvimento de técnicas para aperfeiçoar os polímeros existentes, com o objetivo de diminuir o tempo de obtenção de novos materiais para aplicações técnicas (Cai et al., 2024; Liu et al., 2024; Zhao et al., 2024). É notório que há uma crescente notificação na literatura científica sobre novos tipos de blendas poliméricas, utilizando especialmente da tecnologia de processamento amplamente empregada na indústria (Bing et al., 2024; Filho et al., 2023; Silva et al., 2023; Zhang et al., 2024). As blendas poliméricas representam uma mistura física de dois ou mais polímeros, tendo em vista o desenvolvimento de novos materiais poliméricos com características distintas dos polímeros puros (Chen et al., 2024; Chuakhao et al., 2024; Zhang et al., 2023). Dessa forma, trata-se de uma estratégia para a obtenção de materiais com propriedades ajustadas, o que resultará em uma ampliação da gama de aplicações (Shin et al., 2023; Ye et al., 2023; Yu et al., 2023). As blendas poliméricas constituem uma alternativa para aperfeiçoar o desempenho de polímeros disponíveis no mercado, além de apresentarem uma boa relação de custo/benefício, em comparação com a síntese de novos polímeros em reatores de polimerização (Kwon et al., 2023; Luna et al., 2023; Wang et al., 2023). Atualmente, a ênfase tem sido dada para a produção de blendas poliméricas com materiais provenientes de fontes renováveis, como, por exemplo, o biopolietileno (BioPE) (Vieira et al., 2023).

O polietileno verde, também conhecido como biopolietileno, é obtido a partir de eteno, gerado pela fermentação e destilação do caldo de cana, que, inicialmente, produz o etanol. Em seguida, o etanol é desidratado e transformado em eteno. O BioPE é uma inovação tecnológica, uma vez que, além de absorver o CO₂ da atmosfera no ciclo de produção, ainda reduz a dependência de matérias-primas de origem fóssil para a fabricação de produtos plásticos (Castro et al., 2013; Barbalho et al., 2023; Seculi et al., 2023). Em termos de propriedades mecânicas, o BioPE apresenta comportamento semelhante ao análogo produzido por meio de fonte fóssil, sendo, portanto, um dos bioplásticos disponíveis industrialmente e com potencial de aplicação imediata para produção de blendas poliméricas, compósitos e nanocompósitos (Bezerra et al., 2019; Castro et al., 2012; Castro et al., 2015; Tarrés et al., 2021).

O biopolietileno foi bastante explorado na literatura para a produção de compósitos ecológicos a partir de fibras naturais (Dominici et al., 2019; Bazan et al., 2020; Tarrés e Ardanuy, 2020; Seculi et al., 2023). Para o desenvolvimento de blendas poliméricas, na grande maioria dos trabalhos reportados na literatura, o BioPE foi aplicado como uma fase dispersa (Ferri et al., 2020; Ferreira et al., 2021). A utilização do BioPE para o desenvolvimento de blendas tem como objetivo melhorar a sua resistência ao impacto e a temperatura de deflexão térmica (HDT). Essas propriedades podem ser aprimoradas por meio da incorporação de um modificador de impacto adequado, como o terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), uma vez que é reconhecido por sua capacidade de melhorar o comportamento de HDT (Castro et al., 2016; Luna et al., 2022). A blenda de BioPE/ABS tem como resultado um sistema multifásico, devido à falta de afinidade química entre os componentes, formando uma blenda imiscível. Devido à diferença de estrutura molecular entre o BioPE e o ABS, há uma tendência de fragilização sob impacto, o que limita para aplicações industriais. Uma solução para este problema, em geral, é a introdução de agentes compatibilizantes que apresentem afinidade com as fases da blenda, contribuindo, assim, para reduzir a tensão interfacial e melhorar as propriedades mecânicas (Ajji e Utracki, 1996; Koning et al., 1998).

Bezerra et al. (2019) produziram blendas de BioPE/PCL compatibilizadas com PE-g-AA, com o objetivo de aprimorar a resistência ao impacto da matriz de BioPE. As blendas poliméricas foram processadas em uma extrusora de rosca dupla e, posteriormente, moldadas por injeção. As análises de difração de raios X (DRX), resistência ao impacto, temperatura de deflexão térmica (HDT) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas. Por meio de DRX, observou-se que a adição de PCL e PE-g-AA não alterou significativamente os padrões de difração do Bio-PE. Os resultados de resistência ao impacto mostraram que as blendas apresentaram um comportamento mais tenaz após adição de PCL e PE-g-AA, enquanto o valor da HDT da blenda BioPE/PCL + PE-g-AA (80/20 % em massa + 10 phr) foi ligeiramente superior, em relação ao BioPE. As imagens de MEV das blendas compatibilizadas BioPE/PCL/PE-g-AA mostraram menores diâmetros médios de partículas, bem como ausência de coalescência e aglomerados, o que contribuiu para aperfeiçoar as propriedades mecânicas.

Em relação ao desenvolvimento de blendas de BioPE/ABS compatibilizadas com o copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno, não houve nenhuma menção na literatura especializada, o que gerou uma lacuna sobre o efeito desse copolímero para compatibilizar BioPE/ABS. Sendo assim, a influência do teor de SEBS nas propriedades mecânicas precisa ser investigada na compatibilização da blenda BioPE/ABS, sendo este o principal objetivo do presente trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

O polietileno de alta densidade verde (BioPE) comercializado sob o código SHC7260 foi utilizado como matriz polimérica, apresentando uma densidade de $0,959 \text{ g/cm}^3$ e um índice de fluidez (MFI) de $7,2 \text{ g/min}$. O modificador de impacto acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) tem o código Terluran® HI-10, com um índice de fluidez de $5,5 \text{ cm}^3/\text{min}$ (ISO 1133), fornecido pela BASF. De acordo com o fabricante, as propriedades do ABS são: módulo elástico sob tração de 1900 MPa , resistência ao escoamento de 38 MPa , resistência à flexão de 56 MPa , resistência ao impacto Izod em $23^\circ\text{C} = 410 \text{ J/m}$ e temperatura de deflexão térmica (HDT A - $1,82 \text{ MPa}$) de 96°C . O copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno (SEBS), fornecido pela Kraton, com o código comercial G1652, com 30% de estireno e um índice de fluidez de 5 g/min (230 C/5 kg), foi usado como compatibilizante.

2.2. PROCESSAMENTO E MOLDAGEM

Antes do processamento no estado fundido, o BioPE puro, o ABS e o SEBS foram secos em estufa a vácuo ($60^\circ\text{C}/24\text{h}$). As composições das blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS, com e sem compatibilizante, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição das blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS.

Amostras	BioPE (% em massa)	ABS (% em massa)	SEBS (% em massa)
BioPE	100	-	-
BioPE/ABS	70	30	-
BioPE/ABS/SEBS	70	25	5
BioPE/ABS/SEBS	70	22,5	7,5
BioPE/ABS/SEBS	70	20	10

As blendas poliméricas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS foram processadas em uma extrusora de rosca dupla corrotacional modular, modelo ZSK (D = 18 mm e L/D = 40), da Coperion Werner-Pfleiderer. A rosca da extrusora é configurada com elementos distributivos e dispersivos para aprimorar o grau de mistura, de acordo com a Figura 1. Os parâmetros de processamento adotados foram velocidade de rotação da rosca de 250 rpm, taxa de alimentação controlada de 3 kg/h e as temperaturas de processamento em cada zona de 190°C, 200°C, 200°C, 210°C, 210°C, 220°C e 220°C. Além disso, o BioPE puro foi processado sob as mesmas condições para fins de comparativo com as blendas poliméricas. Após o término do processo de extrusão, os materiais foram granulados. Em seguida, foram armazenados em uma estufa a vácuo por 24 horas, à temperatura de 60°C, com o objetivo de moldar por injeção.

Figura 1. Configuração da rosca: (1,3,5,7,9) elementos de condução (transporte); (2,4,6) elementos de malaxagem (distribuição e dispersão); (8) elementos de turbina (dispersão).



Fonte: Silva et al. (2023).

Os materiais extrudados foram submetidos ao processo de conformação por injeção, utilizando uma injetora da marca Arburg, modelo Allrounder 207C Golden Edition. O perfil de temperatura utilizado foi de 190°C, 190°C, 200°C, 210°C e 220°C. A temperatura do molde foi de 20°C e o tempo de resfriamento foi de 25 s. Por meio do processo de moldagem por injeção, os corpos de prova foram padronizados de acordo com as normas ASTM D256, ASTM D638, ASTM D2240 e ASTM D648 foram obtidos. Os corpos de prova foram preparados com precisão para conduzir os testes de resistência ao impacto, tração, dureza Shore D e temperatura de deflexão térmica (HDT), respectivamente.

2.3. CARACTERIZAÇÕES DAS BLENDA BIOPE/ABS E BIOPE/ABS/SEBS

As curvas reológicas de reometria de torque foram obtidas em um misturador interno de laboratório, modelo Haake PolyLab QC da Thermo Scientific, com rotores do tipo *roller* em 200°C, velocidade de rotação dos rotores de 90 rpm e duração de 10 min, sob uma atmosfera de ar.

O índice de fluidez (MFI) foi determinado em um plastômetro de extrusão da Hebert Lambert, modelo CLP Schneider 3210. A análise foi realizada de acordo com a norma ASTM D1238, utilizando as condições de 190°C e 2,16 kg. A análise foi realizada nas amostras extrudadas e os resultados analisados com uma média de oito amostras.

A determinação da resistência ao impacto Izod foi realizada em corpos de prova entalhados, utilizando um equipamento do tipo Resil 5,5 da Ceast, com um pêndulo de 2,75 J, de acordo com a norma ASTM D256. A análise foi avaliada em temperatura ambiente, com uma média de oito amostras.

A resistência à tração foi conduzida em um equipamento universal da Oswaldo Filizola BME, conforme recomendação da norma ASTM D638. A velocidade de deformação adotada para o ensaio foi de 50 mm/min, a carga de 10 kN e na temperatura ambiente. Foram avaliadas, em média, oito amostras.

O teste de dureza Shore D foi realizado com um equipamento Metrotokyo, de acordo com as prescrições da norma ASTM D2240. Uma carga de 50 N foi aplicada na amostra, em dez pontos aleatórios e o indentador foi pressionado por 10 segundos.

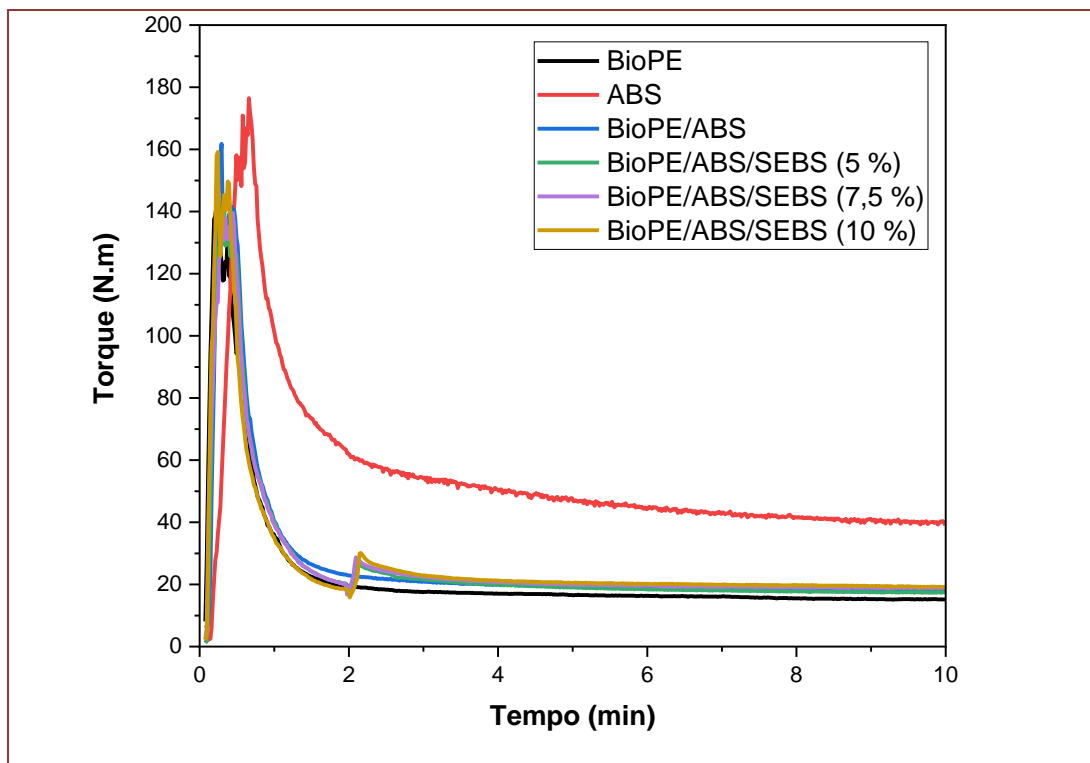
A análise de temperatura de deflexão térmica (HDT) foi realizada com um equipamento da CEAST, modelo HDT 6 VICAT, de acordo com as recomendações da norma ASTM D 648. A taxa de aquecimento foi 120°C/h, sob uma carga de 455 kPa, tendo ocorrido uma deflexão de 0,25 mm na amostra. O meio utilizado para a imersão foi um óleo de silicone. A análise foi realizada a partir da média de três amostras.

A morfologia por microscópio de força atômica (AFM) foi analisada em um equipamento Shimadzu SPM 9600. O modo de varredura utilizado foi o contato intermitente ou tapping mode (TMAFM), em ar, com um cantilever cuja ponta oscilou sobre a superfície das amostras.

A morfologia dos polímeros puros e das blendas poliméricas foi avaliada na superfície de fratura do teste de impacto, em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) da VEGAN 3 TESCAN, utilizando uma tensão de 20 kV e com alto vácuo. As superfícies das amostras foram recortadas com ouro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as curvas de torque em função do tempo para o BioPE puro, o ABS e as blendas BioPE/ABS, contendo 0, 5, 7,5 e 10% em massa de SEBS. No preparo das blendas BioPE/ABS/SEBS, o copolímero SEBS foi adicionado na câmara de mistura em 2 minutos, quando o BioPE e o ABS estavam no estado fundido. Os resultados de torque médio estabilizado na faixa de 8-10 min encontram-se na Tabela 2.

Figura 2. Curvas de reometria de torque dos polímeros puros e das blendas poliméricas.**Tabela 2.** Resultados de torque médio e o índice de fluidez (MFI).

Amostras	Torque médio (N.m)	MFI (g/10 min)
BioPE	15,3 ± 0,07	6,2 ± 0,16
ABS	35,1 ± 0,28	-
BioPE/ABS	18,2 ± 0,10	3,2 ± 0,12
BioPE/ABS/SEBS (5%)	17,5 ± 0,11	3,3 ± 0,12
BioPE/ABS/SEBS (7,5 %)	18,9 ± 0,08	2,8 ± 0,13
BioPE/ABS/SEBS (10 %)	19,4 ± 0,15	2,2 ± 0,09

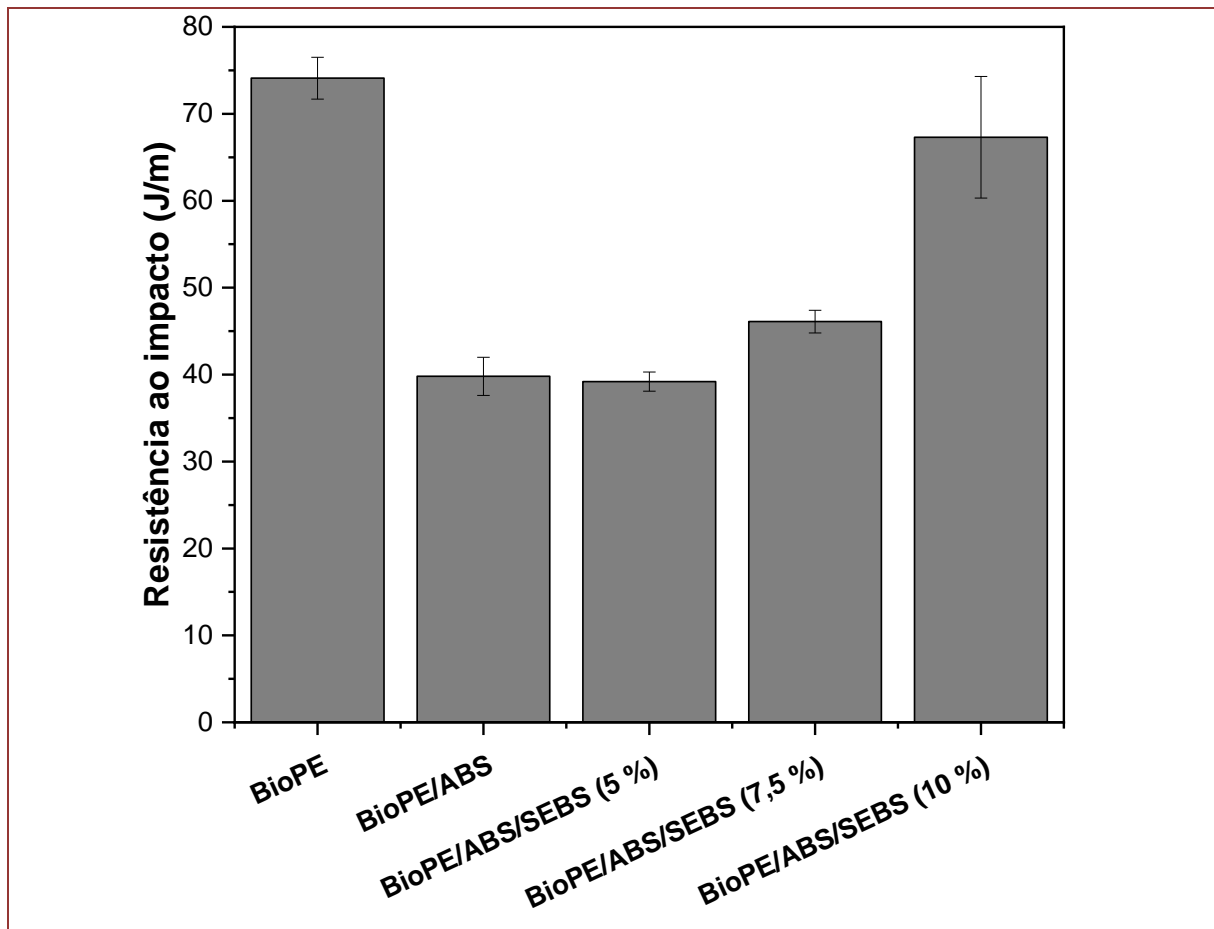
Na Figura 2, observou-se um pico máximo de torque referente à dissipação de energia mecânica para a compactação do material sólido. Em seguida, o torque tendeu a diminuir e a estabilizar-se devido à plastificação do material. Nesse caso, o material funde e sustenta o escoamento na câmara de mistura, o que indica que o torque é proporcional à viscosidade (Alves et al., 20215; Costa et al., 2015; Andrade et al., 2021). O ABS puro apresentou um torque médio superior ao BioPE, indicando uma maior viscosidade para as condições experimentais. Quando 30% de ABS foi adicionado à matriz de BioPE, o que torque aumentou para 18,2 N.m, superando o valor do BioPE. Esse comportamento foi causado pelo efeito da aditividade, ou seja, o aumento no torque da blenda BioPE/ABS está relacionado ao ABS, que apresenta maior viscosidade. Os teores de 5% e 7,5% de SEBS na blenda BioPE/ABS afetaram pouco o valor de torque, tendo em vista que os resultados estão próximos ao sistema BioPE/ABS. Quando 10% de SEBS foi incorporado na blenda, o torque aumentou de forma mais proeminente, com valor de 19,4 N.m. Isso pode ser atribuído, provavelmente, às interações do grupo estireno do SEBS com o ABS, assim como do bloco central de etileno-butileno (E/B) com BioPE, o que refletiu em um maior entrelaçamento molecular, aumentando o torque. Em adição, a substituição de uma

fração do BioPE pelo SEBS (ver Tabela 1), provavelmente também contribuiu para aumentar o torque, haja vista que um teor mais elevado do copolímero SEBS gera uma maior resistência ao escoamento.

O teste de índice de fluidez (MFI) foi realizado para avaliar a resistência ao escoamento do BioPE e das blendas poliméricas. O BioPE apresentou um valor mais elevado de MFI, o que confirma a menor viscosidade e o comportamento da reometria de torque. O ABS não foi capaz de escoar nas condições de 190°C e 2,16 kg, sugerindo alta viscosidade. A blenda BioPE/ABS reduziu significativamente o valor de MFI em relação ao BioPE, o que confirma o aumento da resistência ao escoamento. Para apenas 5% de SEBS, não houve alteração no MFI em relação à BioPE/ABS, apenas uma manutenção dentro do erro experimental. O MFI apresentou um decréscimo mais evidente nos valores de 7,5% e 10% de SEBS, provavelmente devido ao aumento do entrelaçamento molecular entre BioPE/ABS/SEBS, o que reflete na melhoria das propriedades mecânicas apresentadas posteriormente.

A Figura 3 apresenta os resultados de resistência ao impacto para o BioPE puro e as blendas poliméricas, com os teores de 5%, 7,5% e 10% de SEBS.

Figura 3. Resistência ao impacto do BioPE e das blendas poliméricas, com e sem agente compatibilizante SEBS.

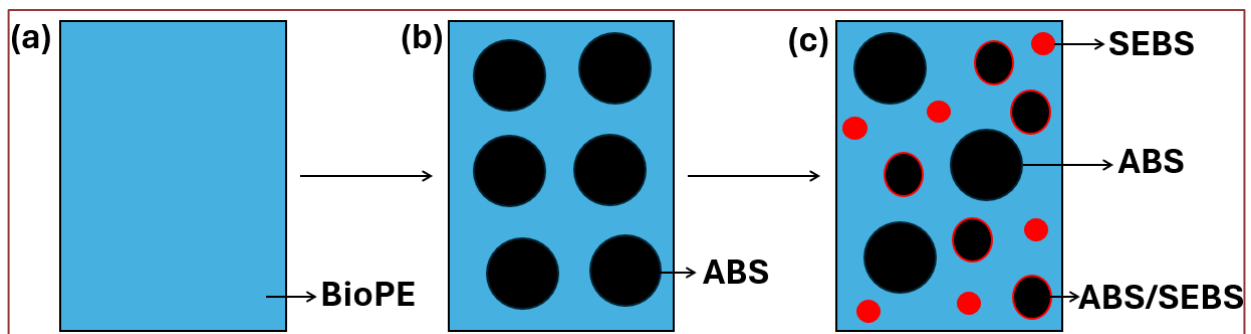


O BioPE apresentou uma resistência ao impacto na ordem de 74,1 J/m, o que é próximo do relatado por Marçal et al. (2022). A incorporação de 30% do ABS na matriz de BioPE causou um decréscimo considerável na resistência ao impacto, com um declínio de 46,3%.

Isso indica que o ABS não foi eficiente como um modificador de impacto para o BioPE, o que sugere a formação de uma blenda incompatível nessa propriedade de impacto. Apesar do ABS utilizado ser de alto impacto (410 J/m), não foi capaz de tenacificar o BioPE, provavelmente devido à baixa interação entre as fases BioPE e o ABS. Como foi demonstrado no MEV mais adiante, a blenda BioPE/ABS apresentou uma morfologia com uma má adesão interfacial do ABS na matriz de BioPE, o que justifica o baixo nível de resistência ao impacto. Dessa forma, o compatibilizante SEBS foi adicionado à blenda BioPE/ABS com o objetivo de diminuir a tensão interfacial e, conseqüentemente, melhorar a interação interfacial entre o BioPE e o ABS (Utracki, 2022).

A adição de 5% de SEBS na blenda BioPE/ABS não aumentou a resistência ao impacto em comparação com a blenda sem compatibilizante (BioPE/ABS), apenas manteve o valor dessa propriedade dentro do erro experimental. À medida que o teor de SEBS foi aumentando, observou-se um acréscimo na resistência ao impacto, uma vez que 7,5% de SEBS proporcionou um ganho de 16% em relação ao sistema BioPE/ABS. No entanto, o resultado da blenda BioPE/ABS/SEBS (7,5%) não superou a matriz de BioPE, o que sugere uma menor capacidade de dissipação de energia sob impacto. A blenda BioPE/ABS/SEBS (10%) apresentou uma recuperação expressiva na resistência ao impacto. Considerando o erro experimental, o resultado da resistência ao impacto da blenda BioPE/ABS/SEBS (10%) foi semelhante ao do BioPE puro. Isso sugere que a compatibilização da blenda BioPE/ABS com SEBS pode ter um teor crítico para iniciar a recuperação da resistência ao impacto, o que foi observado a partir de 10% do SEBS. No presente caso, o aprimoramento da resistência ao impacto da blenda BioPE/ABS/SEBS (10%) pode ser atribuído ao aumento da quantidade de SEBS, provavelmente formando uma terceira fase dispersa e, conseqüentemente, contribuindo para tenacificar. Além disso, uma parte do compatibilizante SEBS pode ter migrado para a interface BioPE/ABS aumentando o nível de interação, gerando, assim, uma interface mais resistente e melhorando o grau de adesão interfacial, o que resultou em maior resistência ao impacto para a blenda BioPE/ABS/SEBS (10%). A Figura 4 apresenta a possível distribuição do SEBS na blenda BioPE/ABS durante o processamento no estado fundido.

Figura 4. Evolução da distribuição do ABS e do SEBS na matriz de BioPE.



A Figura 5 apresenta os resultados das propriedades mecânicas de tração para o BioPE puro e suas blendas poliméricas, de acordo com o teor de SEBS.

Figura 5. Propriedades mecânicas sob tração para o BioPE puro e as blendas poliméricas, para: (a) módulo elástico; (b) resistência à tração; (c) curvas tensão vs deformação.

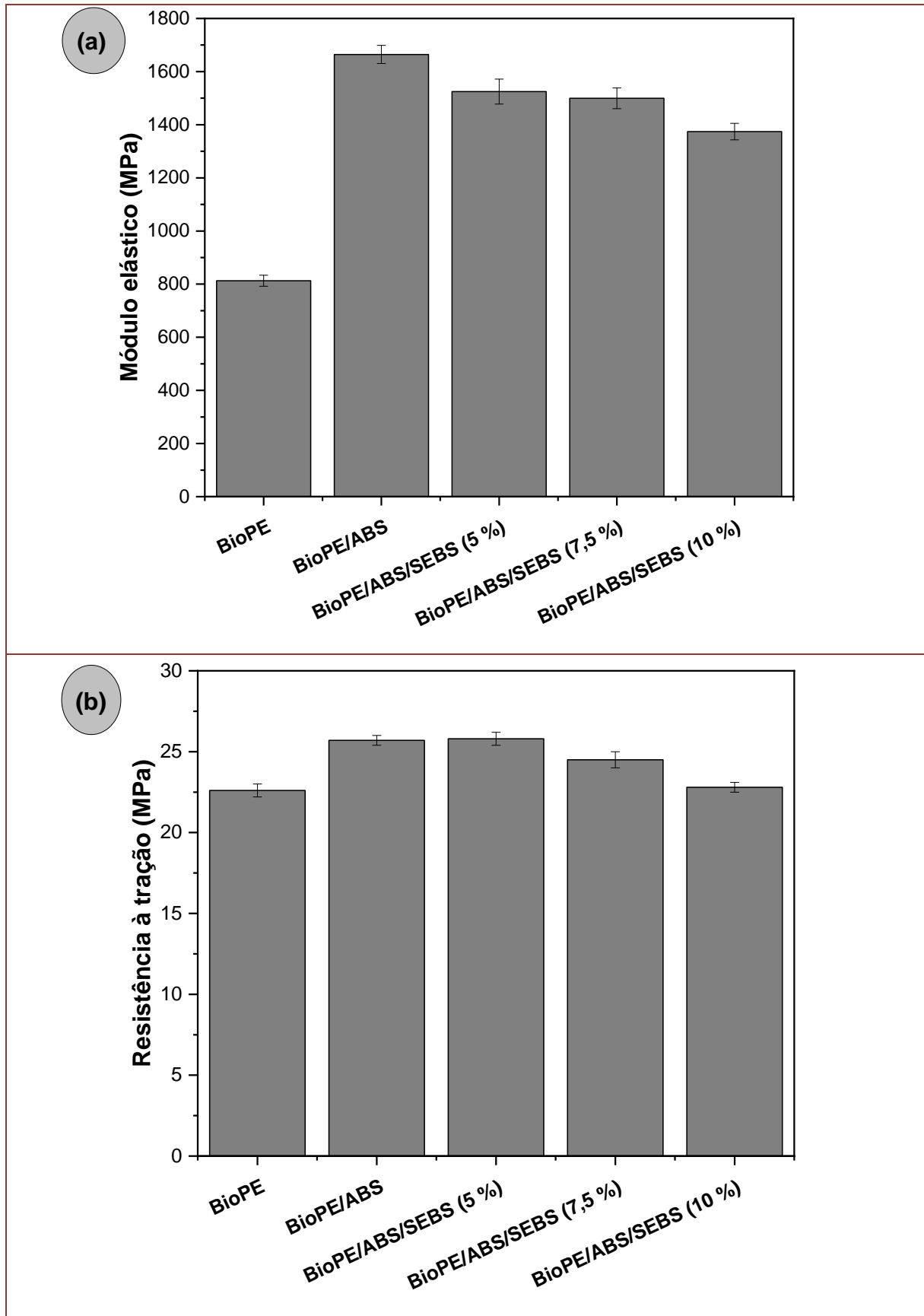
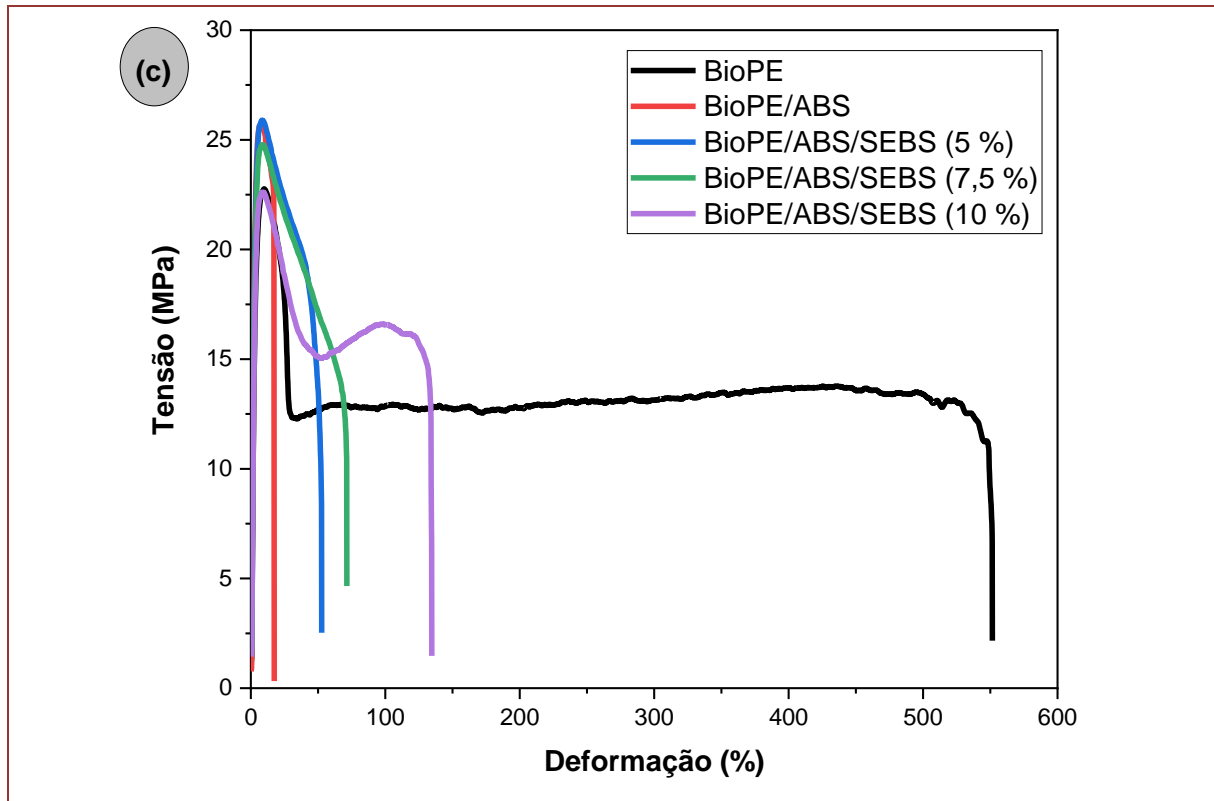


Figura 6. Propriedades mecânicas sob tração para o BioPE puro e as blendas poliméricas, para: (a) módulo elástico; (b) resistência à tração; (c) curvas tensão vs deformação. (continuação)



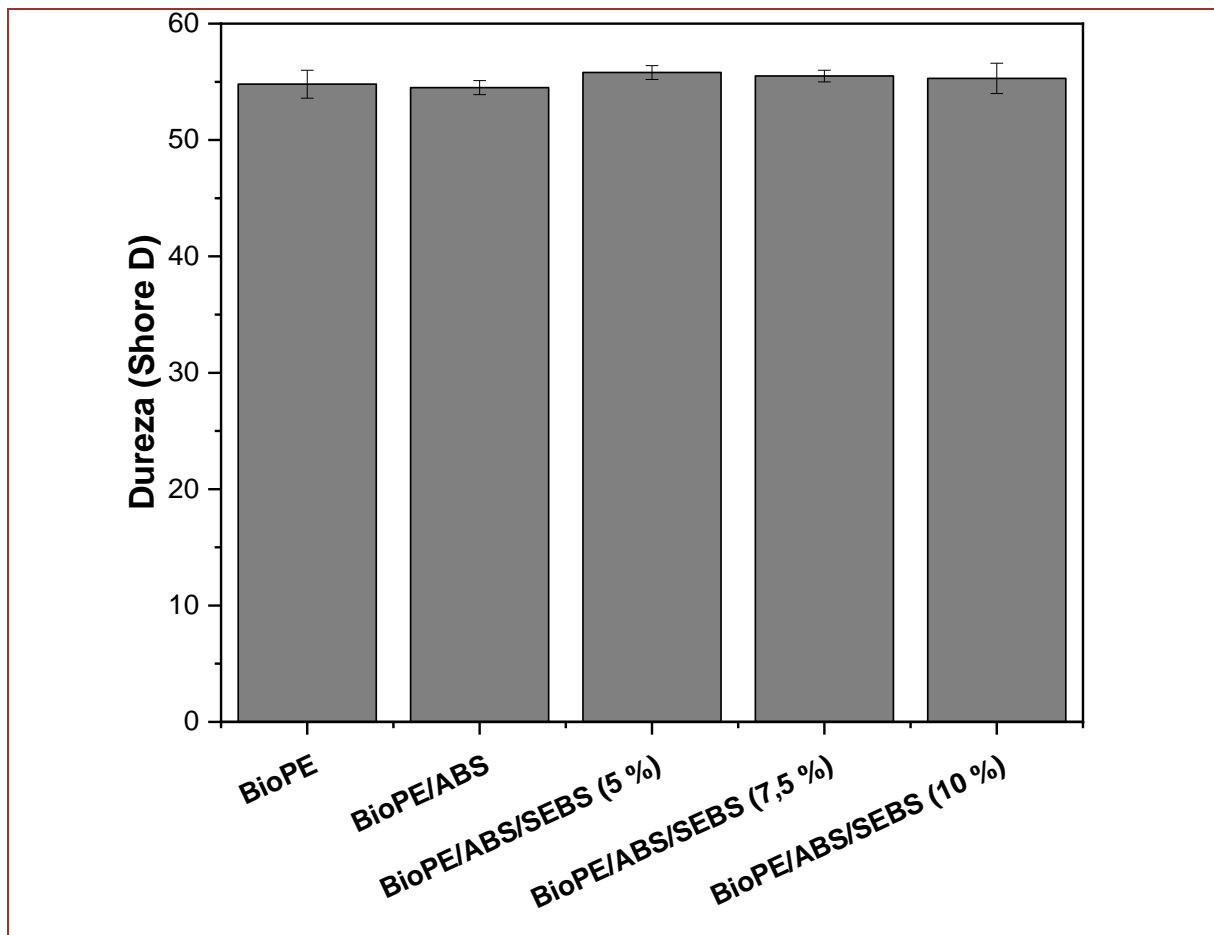
Na Figura 5 (a), o BioPE puro apresentou o mais baixo valor de módulo elástico (812,8 MPa), o que sugere uma menor rigidez em relação aos outros materiais. A adição de 30% de ABS à matriz de BioPE proporcionou um aumento de 105%, o que indica que o ABS aumentou a rigidez. O efeito do SEBS sobre a blenda BioPE/ABS foi em reduzir o módulo elástico, sendo mais pronunciado com 10% de SEBS em comparação ao sistema BioPE/ABS. Isso ocorreu devido ao comportamento elastomérico do SEBS, gerando, assim, perda de rigidez nas blendas BioPE/ABS/SEBS. Ao aumentar o teor de SEBS de 5% para 7,5%, não houve modificação significativa no módulo elástico, tendo em vista que as blendas estão dentro da margem de erro experimental. A diminuição no módulo elástico foi mais notória para a blenda BioPE/ABS/SEBS (10%), em comparação com as demais blendas. No entanto, é importante salientar que o módulo elástico das blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS, independentemente do teor de SEBS, foi superior ao do BioPE puro, o que é um indicador de maior resistência à deformação elástica.

Na Figura 5 (b), é possível notar que o BioPE apresentou uma resistência de 22,6 MPa, enquanto a adição do ABS aumentou para 25,7 MPa, o que sugere o efeito da aditividade sobre essa propriedade. A blenda BioPE/ABS/SEBS (5%) manteve a resistência à tração igual à do sistema base BioPE/ABS, com 25,8 MPa. À medida que o teor de SEBS aumentou para 7,5% e 10%, a resistência à tração diminuiu. Por exemplo, a blenda BioPE/ABS/SEBS (10%) retornou ao nível de resistência à tração da matriz de BioPE. Essa constatação indica que para maior teor de SEBS, as blendas BioPE/ABS/SEBS deformaram-se em tensões menores, possivelmente devido ao aumento da flexibilidade.

Em termos de ductilidade, o BioPE puro apresentou um comportamento típico de material dúctil, caracterizado por uma alta deformação e baixa tensão, como é demonstrado na Figura 5 (c). A blenda BioPE/ABS mostrou um comportamento frágil, com baixa ductilidade e maior resistência à deformação. À medida que o teor de SEBS aumenta na composição BioPE/ABS, a ductilidade também aumenta, sendo mais evidente na composição com 10% de SEBS. A deformação nas blendas BioPE/ABS/SEBS foi acompanhada de um decréscimo na resistência à tração, o que indica uma necessidade de carga menor para a deformação.

A Figura 6 apresenta o comportamento da dureza Shore D do BioPE puro e das blendas poliméricas em função do teor de SEBS. O BioPE puro apresentou uma dureza de 54,8 Shore D. A incorporação de 30% do ABS ao BioPE não alterou o valor da dureza Shore D, apenas manteve essa propriedade em relação ao BioPE. Isso indica que o ABS não mudou de forma significativa o comportamento da resistência à penetração da matriz de BioPE. Observou-se que, a influência da concentração de SEBS sobre a blenda BioPE/ABS não foi significativa para essa propriedade de dureza Shore D, uma vez que os resultados estão dentro da faixa de erro experimental. As concentrações utilizadas de SEBS (5-10% em massa) proporcionaram resultados semelhantes, sugerindo que não houve perda de resistência à penetração para as blendas BioPE/ABS/SEBS.

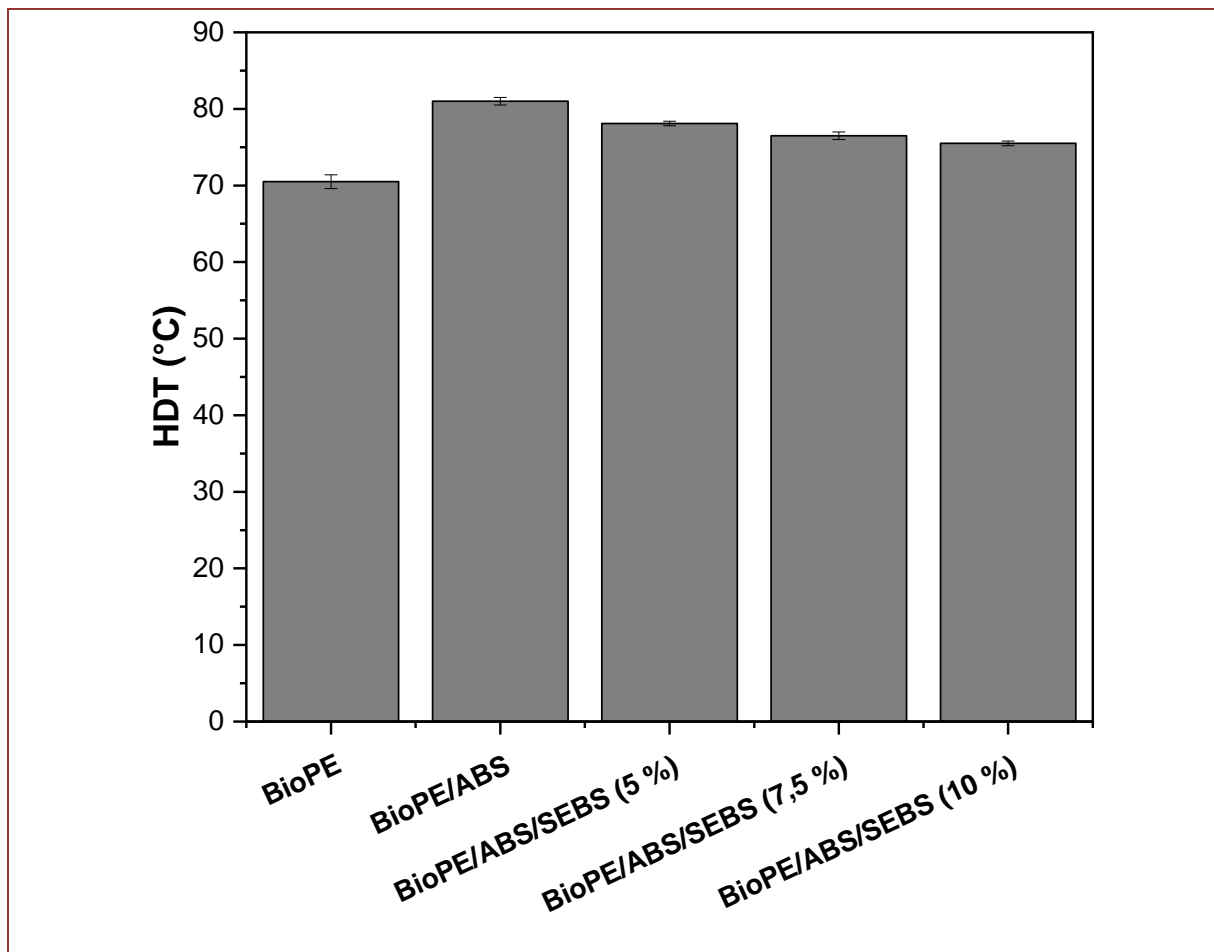
Figura 7. Dureza Shore D para o BioPE e as blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS, em função do teor de SEBS.



A Figura 7 mostra o comportamento da temperatura de deflexão térmica (HDT) para o BioPE puro e as blendas poliméricas com os diferentes teores de SEBS. A HDT é uma propriedade termomecânica importante para o setor de qualidade, tendo em vista que mensura a estabilidade estrutural da blanda polimérica sob esforço mecânico e térmico (Bledzki et al., 2021).

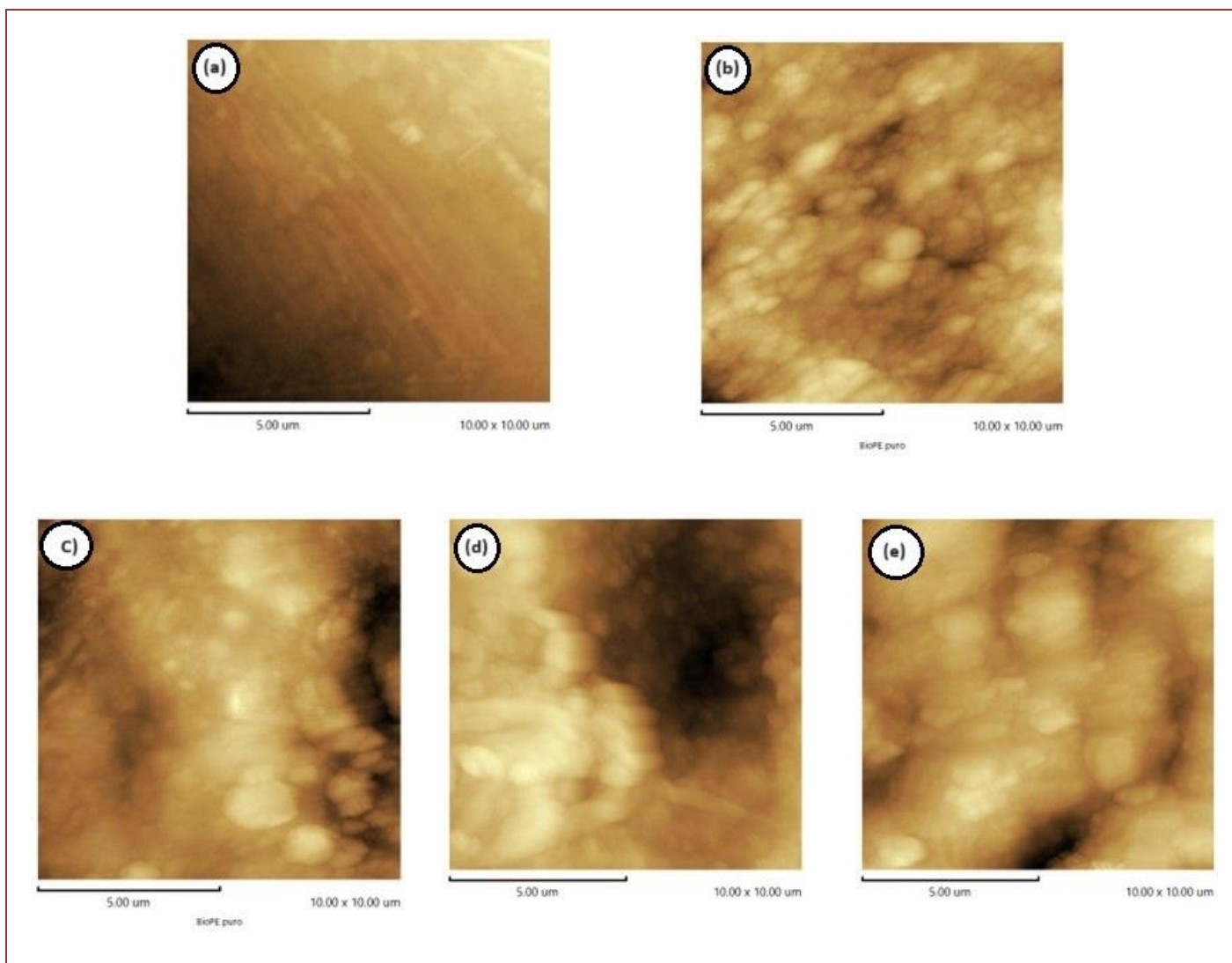
O BioPE apresentou uma HDT na ordem de 70,5°C, um valor próximo ao relatado por Bezerra et al. (2019). A blanda BioPE/ABS aprimorou o valor da HDT para 80,9°C, o que representa um aumento de aproximadamente 10°C em relação ao BioPE puro. A adição de ABS ao BioPE foi capaz de aumentar a estabilidade estrutural, o que, provavelmente, se deve à presença da fase SAN, que melhora a resistência química e térmica. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2011) em blendas de PA6/ABS, indicando o potencial do ABS para aumentar a resistência termomecânica. Em relação às blendas BioPE/ABS/SEBS, os valores de HDT variaram entre 75 e 78°C, superando o BioPE puro. A incorporação do SEBS na blanda BioPE/ABS causou um decréscimo no valor da HDT, em relação ao sistema BioPE/ABS. Esse comportamento ocorreu devido ao SEBS ser um elastômero termoplástico, gerando, assim, maior flexibilidade nas blendas BioPE/ABS/SEBS, o que, conseqüentemente, reduz o valor da HDT.

Figura 8. HDT do BioPE e das blendas poliméricas, com e sem o agente compatibilizante SEBS.



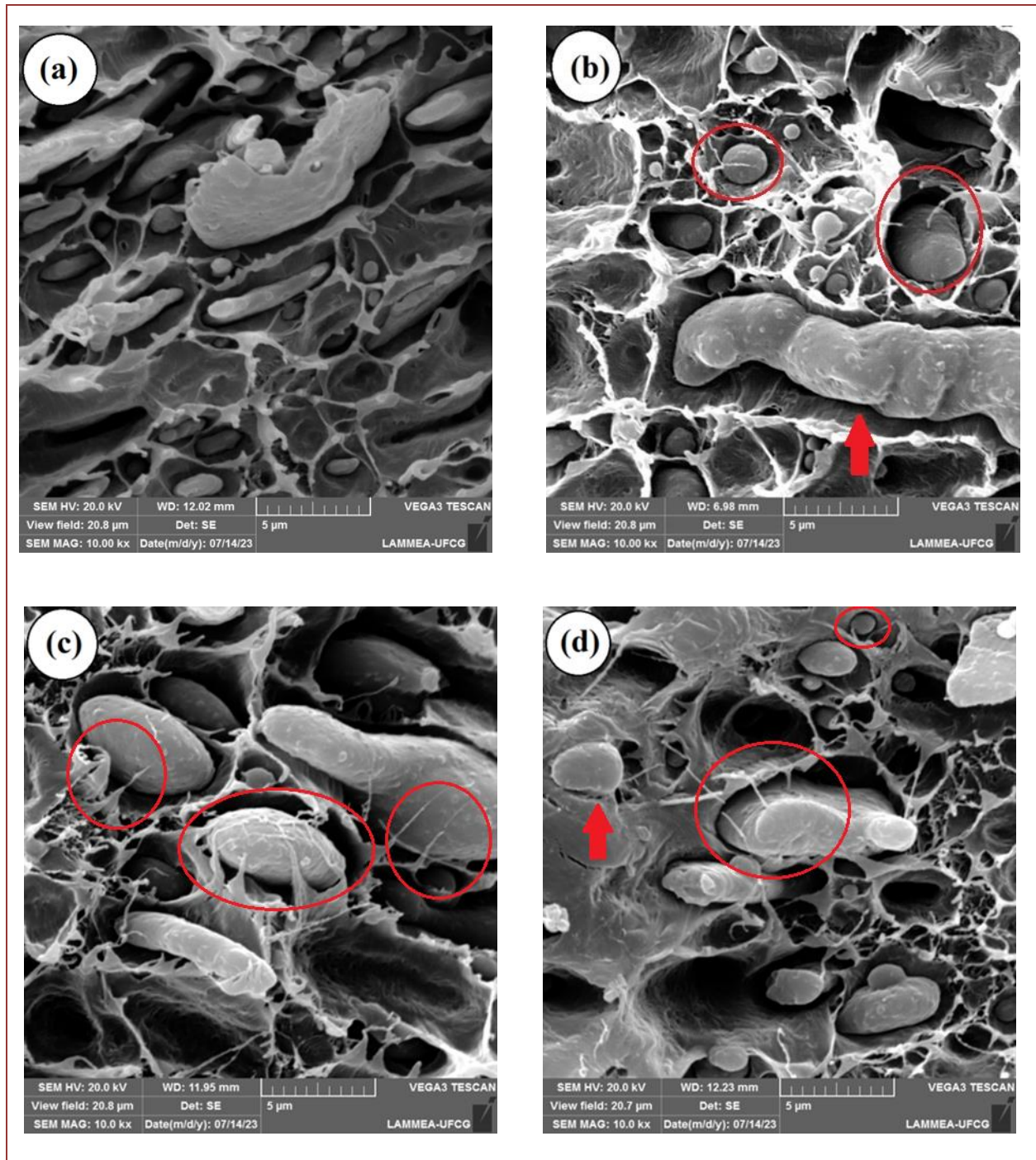
A Figura 8 apresenta a morfologia da superfície obtida por AFM do BioPE e das blendas poliméricas, com e sem o agente de compatibilização SEBS. Na Figura 8 (a), o BioPE puro apresentou uma superfície lisa e sem separação de fases. Por outro lado, verificou-se na Figura 8 (b-e) que as blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS, independentemente do teor de SEBS, demonstraram uma morfologia heterogênea e bifásica, confirmando a imiscibilidade dos componentes. Aparentemente, a blenda BioPE/ABS apresentou o ABS com partículas próximas, sugerindo uma má distribuição. A incorporação do SEBS na blenda BioPE/ABS aprimorou a distribuição da fase dispersa, o que sugere uma maior estabilidade morfológica. A análise de AFM não permitiu uma avaliação satisfatória da atuação do SEBS na interface entre o BioPE e o ABS. Dessa forma, a análise de MEV foi realizada e discutida posteriormente.

Figura 9. Micrografias obtidas da superfície por AFM, para: (a) BioPE; (b) BioPE/ABS; (c) BioPE/ABS/SEBS (5%); (d) BioPE/ABS/SEBS (7,5%); (e) BioPE/ABS/SEBS (10%).



A análise morfológica por meio de MEV foi realizada na superfície de fratura do teste de impacto com o objetivo de estabelecer uma relação entre sua estrutura e as propriedades mecânicas. Na Figura 9 (a-d) são mostradas as superfícies de fratura das blendas BioPE/ABS e BioPE/ABS/SEBS. As blendas poliméricas apresentaram uma morfologia bifásica, com separação de fases, o que indica imiscibilidade e confirmando o AFM. A Figura 9 (a) revela que a blenda BioPE/ABS apresentou uma morfologia grosseira, com partículas de ABS alongadas e grandes. Além disso, a região interfacial entre o BioPE e o ABS não apresentou ligamentos, o que indica uma baixa adesão entre a fase dispersa e a fase contínua, caracterizando um sistema incompatível. A baixa adesão na interface é consequência da alta tensão interfacial entre as fases. Essa característica morfológica não favoreceu para a obtenção de boas propriedades de impacto e alongamento na ruptura, como demonstrado anteriormente. A adição de 5% de SEBS na blenda BioPE/ABS alterou pouco o comportamento da morfologia, como é possível notar na Figura 9 (b). A blenda BioPE/ABS/SEBS (5%) apresentou ainda partículas grandes e alongadas do ABS (ver seta vermelha), com algumas partículas dispersas com baixa adesão interfacial. Entrando, foram verificadas algumas partículas pequenas de ABS ou SEBS, como discutido na Figura 4 (c). Existem algumas partículas dispersas com conexões na matriz de BioPE (círculos vermelhos), o que sugere que o SEBS migrou para a interface BioPE e ABS, gerando, dessa forma, um nível discreto de interação. Em termos de propriedades mecânicas, a morfologia da blenda BioPE/ABS/SEBS (5%) não contribuiu para melhorar a resistência ao impacto, tendo em vista o resultado semelhante ao sistema base BioPE/ABS. Apesar de haver um refinamento na fase dispersa, o baixo nível de adesão interfacial não propiciou uma dissipação eficiente de energia no BioPE. A falta de adesão entre as fases torna a interface menos resistente e, conseqüentemente, não favorece para tenacificar. À medida que o teor de SEBS aumentou para 7,5% e 10%, notou-se um acréscimo nos ligamentos entre a fase dispersa e o BioPE, o que se tornou relevante para melhorar a resistência ao impacto e alongamento na ruptura. No entanto, as partículas dispersas ainda apresentaram um grande tamanho e, ao mesmo tempo, foram notados alguns vazios na matriz de BioPE. Na Figura 9 (d), é notório que a adesão entre as fases aumentou (indicação com seta vermelha), uma vez que, apesar do teste de impacto, a partícula permaneceu aderida à matriz de BioPE, o que demonstra que a interface não se rompeu.

Figura 10. Evolução da morfologia das blendas poliméricas, para: (a) BioPE/ABS; (b) BioPE/ABS/SEBS (5%); (c) BioPE/ABS/SEBS (7,5%); (d) BioPE/ABS/SEBS (10%).



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Blendas de BioPE/ABS compatibilizadas com SEBS foram preparadas no estado fundido e moldadas por injeção, com o objetivo de avaliar as propriedades reológicas, mecânicas, termomecânicas e a morfologia. A blenda de BioPE/ABS apresentou uma diminuição na sua resistência ao impacto em relação ao BioPE puro, o que resultou numa fragilização. O copolímero SEBS foi mais eficiente na concentração de 10% em peso na blenda BioPE/ABS, o que melhorou a resistência ao impacto e o alongamento na ruptura em comparação ao BioPE/ABS. A utilização do ABS como um modificador de impacto teve

como consequência a melhoria das propriedades de módulo elástico e HDT das blendas poliméricas, sugerindo que um material de engenharia pode promover um maior equilíbrio de propriedades. Diante do exposto, novas blendas de BioPE/ABS/SEBS podem ser produzidas com características adequadas para as aplicações industriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de pesquisa sob processo 350025/2023-1 (Carlos Luna). As professoras Edcleide Araújo (Processo: 312014/2020-1) e Renate Wellen (Processo: 303426/2021-7) são bolsistas de produtividade em pesquisa do CNPq. Em adição, os autores reconhecem à UFCG pela infraestrutura dos laboratórios e a Kraton pela doação do copolímero SEBS. Este trabalho foi elaborado a partir dos resultados da disciplina de práticas experimentais em processamento de polímeros.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, T. S.; NETO, J. E. S.; SILVA, S. M. L.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E. L. Process simulation of laboratory internal mixers. **Polymer Testing**, 50, 94-100, 2015.
- [2] ANDRADE, D. S. C.; CANEDO, E. L.; CARVALHO, L. H.; BARBOSA, R.; ALVES, T. S. Characterization of Poly(Ethylene Terephthalate) by Torque Rheometry. **Materials Research**, 24(2): e20200238, 2021.
- [3] AJJI, A.; UTRACKI, L. A. Interphase and compatibilization of polymer blends. **Polymer Engineering and Science**, 36(12), 1574-1585, 1996.
- [4] BARBALHO, G. H. A.; NASCIMENTO, J. J. S.; SILVA, L. B.; GOMEZ, R. S.; FARIAS, D. O.; DINIZ, D. D. S.; SANTOS, R. S.; FIGUEIREDO, M. J.; LIMA, A. G. B. Bio-Polyethylene Composites Based on Sugar Cane and Curauá Fiber: An Experimental Study. **Polymers**, 15(6), 1369, 2023.
- [5] BAZAN, P.; MIERZWINSKI, D.; BOGUCKI, R.; KUCIEL, S. Bio-Based Polyethylene Composites with Natural Fiber: Mechanical, Thermal, and Ageing Properties. **Materials**, 13(11), 2595, 2020.
- [6] BEZERRA, E. B.; FRANÇA, D. C.; MORAIS, D. D. S.; SILVA, I. D. S.; SIQUEIRA, D. D.; ARAÚJO, E. M.; WELLEN, R. M. R. Compatibility and characterization of Bio-PE/PCL blends. **Polímeros**, 29(2), e2019022, 2019.
- [7] BEZERRA, E. B.; FRANÇA, D. C.; MORAIS, D. D. S.; SIQUEIRA, D. D.; ARAÚJO, E. M.; WELLEN, R. M. R. Toughening of bio-PE upon addition of PCL and PEgAA. **REM - International Engineering Journal**, 72(3), 469-478, 2019.
- [8] BING, X.; WU, M.; MA, W.; XU, X.; ZHOU, X.; WANG, L.; ZHENG, W. Development of toughened and heat-resistant biodegradable injection-molded polylactide acid-based blend foams via enhancing interfacial bonding and PLA phase crystallization. **Polymer**, 298, 126883, 2024.
- [9] BLEZKI, A. K.; MAMUN, A. A.; FELDMANN, M. Polyoxymethylene composites with natural and cellulose fibres: Toughness and heat deflection temperature. **Composites Science and Technology**, 72(15), 1870-1874, 2012.
- [10] CAI, K.; LIU, X.; MA, X.; ZHANG, J.; TU, S.; FENG, J. Preparation of biodegradable PLA/PBAT blends with balanced toughness and strength by dynamic vulcanization process. **Polymer**, 291, 126587, 2024.
- [11] CASTRO, D. O.; FROLLINI, E.; MARINI, J.; FILHO, A. R. Preparation and Characterization of Biocomposites Based on Curauá Fibers, High-density Biopolyethylene (HDBPE) and Liquid Hydroxylated Polybutadiene (LHPB). **Polímeros**, 23(1), 65-73, 2013.
- [12] CASTRO, D. O.; FILHO, A. R.; FROLLINI, E. Materials prepared from biopolyethylene and curauá fibers: Composites from biomass. **Polymer Testing**, 31(7), 880-888, 2012.
- [13] CASTRO, D. O.; FROLLINI, E.; FILHO, A. R.; DUFRESNE, A. "Green polyethylene" and curauá cellulose nanocrystal based nanocomposites: Effect of vegetable oils as coupling agent and processing

technique. **Journal of Polymer Science. Part B: Polymer Physics**, 53(14), 1010-1019, 2015.

- [14] CASTRO, L. D. C.; OLIVEIRA, A. D.; KERSCH, M.; ALTSTADT, V.; PESSAN, L. A. Effects of mixing protocol on morphology and properties of PA6/ABS blends compatibilized with MMA-MA. **Journal Applied Polymer Science**, 133(27), 1-15, 2016.
- [15] CHEN, R. Y.; JIN, B. H.; HAN, L.; ZHANG, Z. H.; FANG, S. M. Preparation and performance of super toughened and high heat-resistant biodegradable PLA/PBAT blends. **Materials Letters**, 361, 136171, 2024.
- [16] CHUAKHAO, S.; RODRÍGUEZ, J. T.; LAPNONKAWOW, S.; KANNAN, G.; MULLER, A. J.; SUTTIRUENGWONG, S. Formulating PBS/PLA/PBAT blends for biodegradable, compostable packaging: The crucial roles of PBS content and reactive extrusion. **Polymer Testing**, 132, 108383, 2024.
- [17] COSTA, A. R. M.; ALMEIDA, T. G.; SILVA, S. M. L.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E. L. Chain extension in poly(butylene-adipate-terephthalate). Inline testing in a laboratory internal mixer. **Polymer Testing**, 42, 115-121, 2015.
- [18] DOMINICI, F.; GARCIA, D. G.; FOMBUENA, V.; LUZI, F.; PUGLIA, D.; TORRE, L.; BALART, R. Bio-Polyethylene-Based Composites Reinforced with Alkali and Palmitoyl Chloride-Treated Coffee Silverskin. **Molecules**, 24(17), 3113, 2019.
- [19] FERRI, J. M.; GARCIA, D. G.; RAYÓN, E.; SAMPER, M. D.; BALART, R. Compatibilization and Characterization of Polylactide and Biopolyethylene Binary Blends by Non-Reactive and Reactive Compatibilization Approaches. **Polymers**, 12(6), 1344, 2020.
- [20] FERREIRA, E. S. B.; LUNA, C. B. B.; SIQUEIRA, D. D.; FILHO, E. A. S.; ARAÚJO, E. M.; WELLEN, R. M. R. Production of Eco-Sustainable Materials: Compatibilizing Action in Poly (Lactic Acid)/High-Density Biopolyethylene Bioblends. **Sustainability**, 13(21), 12157, 2021.
- [21] FILHO, E. A. S.; LUNA, C. B. B.; FERREIRA, E. S. B.; SIQUEIRA, D. D.; ARAÚJO, E. M. Production of PLA/NR blends compatibilized with EE-g-GMA and POE-g-GMA: an investigation of mechanical, thermal, thermomechanical properties and morphology. **Journal of Polymer Research**, 30, 132, 2023.
- [22] KWON, H. G.; PARK, J.; KIM, N.; LEE, S.; SHIM, J.; LEE, M.; SON, Y. High impact strength of aliphatic polyketone/polyamide 6 blends induced by a chemical reaction. **Journal of Elastomers & Plastics**, 55(4):492-510, 2023.
- [23] KONING, C.; DUIN, M. V.; PAGNOULLE, C.; JEROME, R. Strategies for compatibilization of polymer blends. **Progress in Polymer Science**, 23(4), 707-757, 1998.
- [24] LIU, W.; WANG, Y.; XIANG, S.; LIU, H. Unveiling the effect of enhanced interfacial compatibility on the mechanical properties of PLA/PBAT blends. **Polymer**, 296, 126815, 2024.
- [25] LUNA, C. B. B.; FERREIRA, E. S. B.; COSTA, A. R. M.; ALMEIDA, Y. M. B.; MELO, J. B. C. A.; ARAÚJO, E. M. Toward Reactive Processing of Polyamide 6 Based Blends with Polyethylene Grafted with Maleic Anhydride and Acrylic Acid: Effect of Functionalization Degree. **Macromolecular Reaction Engineering**, 17(5), 2300031, 2023.
- [26] LUNA, C. B. B.; FERREIRA, E. S. B.; SIQUEIRA, D. D.; ARAÚJO, E. M.; NASCIMENTO, E. P.; MEDEIROS, E. S.; MÉLO, T. J. A. Electrical nanocomposites of PA6/ABS/ABS-MA reinforced with carbon nanotubes (MWCNTf) for antistatic packaging. **Polymer Composites**, 43(6), 3639-3658, 2022.
- [27] MARÇAL, V. S.; LUNA, C. B. B.; ARAÚJO, E. M.; FERREIRA, E. S. B.; FILHO, E. A. S.; SIQUEIRA, D. D. Biopolyethylene/macaiúba shell (*Acrocomia intumescens*) composites compatibilized with PE-g-GMA and PE-g-AA: Influence of macaiúba oil on processing. **Polymer Composites**, 43(4), 2184-2195, 2022.
- [28] OLIVEIRA, A. D.; LAROCCA, N. M.; PESSAN, L. A. Efeito da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas PA6/ABS Compatibilizadas com o Copolímero SMA. **Polímeros**, 21(1), 27-33, 2011.
- [29] SECULI, F.; ESPINACH, F. X.; JULIÁN, F.; AGUILAR, M. D.; MUTJÉ, P.; TARRÉS, Q. Evaluation of the Interface Strength in the Abaca-Fiber-Reinforced Bio-Polyethylene Composites. **Polymers**, 15(12), 2686, 2023.
- [30] SECULI, F.; ESPINACH, F. X.; JULIÁN, F.; AGUILAR, M. D.; MUTJÉ, P.; TARRÉS, Q. Comparative Evaluation of the Stiffness of Abaca-Fiber-Reinforced Bio-Polyethylene and High Density Polyethylene Composites. **Polymers**, 15(5), 1096, 2023.

- [31] SHIN, E. J.; JUNG, Y. S.; PARK, C. H.; LEE, S. Eco-friendly TPU/PLA Blends for Application as Shape-Memory 3D Printing Filaments. **Journal of Polymers and the Environment**, 31, 3182–3196, 2023.
- [32] SILVA, P. T. V.; LUNA, C. B. B.; FILHO, E. A. S.; NASCIMENTO, E. P.; ARAÚJO, E. M. Tailoring polyamide 6 to exhibit super-tough behavior and high thermomechanical stability: The role of AES and EPDM-MA hybridization. **Journal of Applied Polyme Science**, 140(39), e54470, 2023.
- [33] TARRÉS, Q.; DÍAZ, D. H.; ARDANUY, M. Interface Strength and Fiber Content Influence on Corn Stover Fibers Reinforced Bio-Polyethylene Composites Stiffness. **Polymers**, 13(5), 768, 2021.
- [34] TARRÉS, Q.; ARDANUY, M. Evolution of Interfacial Shear Strength and Mean Intrinsic Single Strength in Biobased Composites from Bio-Polyethylene and Thermo-Mechanical Pulp-Corn Stover Fibers. **Polymers**, 12(6), 1308, 2020.
- [35] UTRACKI, L. A. Compatibilization of Polymer Blends. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 80(6), 1008-1016, 2002.
- [36] VIEIRA, J. A.; SANTOS, Z. I. G.; UEKI, M. M. Morphological, Thermal, and Mechanical Characterization of Bio-Based High-Density Polyethylene / Biopolyamide 6.10 Blends Compatibilized with PE and SEBS Functionalized With Maleic Anhydride. **Materials Research**, 26, e20230279, 2023.
- [37] WANG, Z.; LIN, N.; KANG, H.; HAO, X.; LIU, R. Miscibility, crystallization and properties of bio-based polyamide 56/polyamide 6 blends. **Polymer**, 265, 125603, 2023.
- [38] YE, G.; GU, T.; CHEN, B.; BI, H.; HU, Y. Mechanical, thermal properties and shape memory behaviors of PLA/PCL/PLA-g-GMA blends. **Polymer Engineering and Science**, 63(7), 2083-2092, 2023.
- [39] YU, W.; SUN, L.; LI, M.; LI, M.; LEI, W.; WEI, C. FDM 3D Printing and Properties of PBS/PLA Blends. **Polymers**, 15(21), 4305, 2023.
- [40] ZHAO, T.; YU, J.; ZHANG, X.; HAN, W.; ZHANG, S.; PAN, H.; ZHANG, Q.; YU, X.; BIAN, J.; ZHANG, H. Thermal, crystallization, and mechanical properties of polylactic acid (PLA)/poly(butylene succinate) (PBS) blends. **Polymer Bulletin**, 81, 2481–2504, 2024.
- [41] ZHANG, J.; LI, P.; LI, Y.; LUO, M.; YAN, Z.; WANG, T.; FU, Q.; GAO, X.; ZHANG, J. Preparation of PLA/PBAT blends with high performance via the synergistic effect of high mold temperature and strong shear field. **Polymer**, 296, 126795, 2024.
- [42] ZHANG, Q.; GAO, Y.; LUO, B.; CUI, Y.; SHU, S.; CHEN, W.; WANG, L. Effect of Styrene-Maleic Anhydride Copolymer on Properties of PBST/PLA Blends. **Polymers**, 15(4), 952, 2023.

Autores

ALINE MARA OLIVEIRA (ORGANIZADORA)

Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2012). Pós Graduada em Gestão de Projetos (FGV 2014-5015). Ministrou aulas no Centro Universitário do Planalto de Araxá(2015-2016) e no CEFET-MG nos cursos de graduação e técnicos. Tem experiência na área de Automação Industrial, Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: redes industriais, proteção de sistemas elétricos, IEC-61850, automação, instrumentação, sistemas de controle, equacionamento de controladores, sistemas multivariáveis e teoria de controle. Trabalhou na indústria no setor de projetos industriais no período de 2007 a 2015. Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia. (2017-2019). Atualmente doutoranda no curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.(2019-2023)

OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

AURORA MARIANA GARCIA DE FRANÇA SOUZA

Graduação em Engenharia Química e doutorado em Ciências Biológicas- Microbiologia Aplicada. Atuou por 26 anos como engenheira na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) na área de controle de poluição, licenciamento ambiental, avaliação de áreas contaminadas, entre outros. Atualmente, é docente nos cursos de Engenharias Química, Mecânica e de Produção no Centro Universitário da Fundação Hermínio Ometto – FHO/UNIARARAS, nas disciplinas de Gestão Ambiental em Empresas e Engenharia do Meio Ambiente e, também, no curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental, na ESALQ/USP, na disciplina Química Ambiental. Coordena o grupo de pesquisa em Gerenciamento Ambiental com enfoque em Produção mais Limpa (P+L) e integra o Núcleo Docente Estruturante do curso de Engenharia Química, esses na FHO/UNIARARAS. Faz parte do grupo EcoOne nacional do Movimento dos Focolares e é colaboradora-docente na implantação do Instituto Sophia ALC (América Latina e Caribe) e docente do curso de formação em liderança comunitária do mesmo instituto.

ELAYNE RUTE LESSA LEMOS

Graduada em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Atualmente é arquitetura de Cloud Computing na Magazine Luiza.

EMILAINÉ MARIA DE SOUZA RANGEL SOARES

Engenheira de Petróleo pela UFF - Universidade Federal Fluminense, Especialista em Petróleo e Gás Natural pela COPPE/UFRJ. Exerceu diversas atividades na graduação como integrante do Capítulo Estudantil SPE (Society of Petroleum Engineers)-UFF (2017-2018), bolsista de Desenvolvimento Acadêmico, fundação do Diretório Acadêmico de Engenharia de Petróleo/UFF. Participou da organização da PetroUFF - Semana Fluminense de Petróleo (2017-2018). Estagiária da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2017-2018). Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Federal Fluminense e Engenheira de Manutenção, contratada pela Petrobras.

FRANCISCO CARLOS DA CUNHA SANTANA

Graduado em Engenharia Civil

GERALDO DE SOUZA FERREIRA

Engenheiro de Minas. Engenheiro Geólogo. Mestre em Geociências. Doutor em Engenharia de Produção. Professor do Ensino Superior na Universidade Federal Fluminense. Foi criador do Programa de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo (PetroPET) e da P&Q - Engenharia Júnior. Atua nas áreas de Ensino, Pesquisa e Extensão, por meio de projetos de formação de recursos humanos e desenvolvimento científico tecnológico, com ênfase nas áreas de interesse de Metodologia de solução de problemas em engenharia, Engenharia e sustentabilidade, Recursos naturais e desenvolvimento.

PRISCILA CRISTINA HENKE

Docente da Faculdade Santo Ângelo – FASA.

JOÃO VICTOR PEREIRA PAVAN

Discente do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Santo Ângelo – FASA.

JULIA MELISCKI MENDES

Engenheira Química formada pela Fundação Hermínio Ometto FHO - Uniararas, atua como Analista de Qualidade na empresa Eurofins Ambiental Rio Claro, com experiência em Sistema de Gestão da Qualidade, análises ambientais, Meio Ambiente, Saúde e Segurança..

MARCILIO LUÍS VIANA CORREIA

Mestre em Logística e Pesquisa Operacional; Graduado em Engenharia Civil e Matemática Universidade Federal Rural do Semi-Árido

ROSALVO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO

Professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Tem publicações em relevantes jornais e conferências internacionais: Expert Systems with Applications, Computers and Electronics in Agriculture, International Joint Conference on Artificial Neural Networks and International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Também tem artigos publicados nos principais eventos organizados pela Sociedade Brasileira de Computação relacionados à área de Inteligência Artificial: Conferência Brasileira de Sistema Inteligente (BRACIS), Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames), Simpósio Brasileiro de Banco de Dados (SBBDD), Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais (SBSeg) e Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)

VALQUIRIA MELO SOUZA CORREIA

Doutora em Engenharia Civil - Universidade Federal Rural do Semi-Árido

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

