

Renato da Costa dos Santos  
Organizador

# Ciências Exatas e Aplicadas: novas descobertas e tecnologias



Renato da Costa dos Santos

**CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS: NOVAS DESCOBERTAS E  
TECNOLOGIAS**



2021 Uniedusul Editora - Copyright da Uniedusul  
Editor Chefe: Me. Wellington Junior Jorge  
Diagramação e Edição de Arte: Uniedusul Editora  
Revisão: Os autores

### Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva  
Adriana Gava  
Alexandre Azenha Alves de Rezende  
Alexandre Matiello  
Ana Júlia Lemos Alves Pedreira  
Ana Paula Romero Bacri  
Andre Contin  
Andrea Boari Caraciola  
Antonio Luiz Miranda  
Campos Antônio Valmor de  
Carlos Augusto de Assis  
Christine da Silva Schröder  
Cíntia Beatriz Müller  
Claudia Madruga Cunha  
Claudia Padovesi Fonseca  
Daniela de Melo e Silva  
Daniela Franco Carvalho  
Dhonatan Diego Pessi  
Domingos Savio Barbosa  
Fabiano Augusto Petean  
Fabrício Meller da Silva  
Fernanda Paulini  
Francielle Amâncio Pereira  
Graciela Cristine Oyamada  
Hélcio de Abreu Dallari Júnior  
Helena Maura Torezan Silingardi  
Izaque Pereira de Souza  
Jaisson Teixeira Lino

Jaqueline Marcela Villafuerte Bittencourt  
Jessica da Silva Campos  
Jéssica Rabito Chaves  
John Edward Neira Villena  
Jonas Bertholdi  
Karine Rezende de Oliveira  
Leonice Aparecida de Fatima Alves Pereira Mourad  
Luciana Karen Calábria  
Luciano Messina Pereira da Silva  
Luiz Carlos Santos  
Luiz F. do Vale de Almeida Guilherme  
Marcelo de Macedo Brigido  
Maurício José Siewerdt  
Michelle Asato Junqueira  
Nedilso Lauro Brugnera  
Ng Haig They  
Normandes Matos da Silva  
Odair Neitzel  
Olga Maria Coutinho Pépece  
Pablo Cristini Guedes  
Rafael Ademir Oliveira de Andrade  
Regina Célia de Oliveira  
Reinaldo Moreira Bruno  
Renilda Vicenzi  
Rita de Cassia Pereira Carvalho  
Rivaél Mateus Fabricio  
Sarah Christina Caldas Oliveira  
Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C569 Ciências exatas e aplicadas [livro eletrônico] : novas descobertas e tecnologias / Organizador Renato da Costa dos Santos. – Maringá, PR: Uniedusul, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86010-93-0

1. Ciências exatas – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Santos, Renato da Costa dos.

CDD 500

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

Permitido fazer download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos os créditos aos autores, mas sem de nenhuma forma utilizá-la para fins comerciais.

<b>Capítulo 1</b> .....	<b>05</b>
A compreensão dos números negativos nos <i>Princípios Matemáticos</i> de José Anastácio da Cunha	
Antonio José Melo de Queiroz	
doi: 10.51324/86010930.1	
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>19</b>
O Ensino de Física como um compromisso com a vida: estudo de caso no curso de Engenharia Civil, UNEMAT, Tangará da Serra-MT	
Elias Antunes dos Santos	
Leonice Aparecida de Fátima Alves Pereira Mourad	
Hellen Cristina de Souza	
Marinez Cargnin-Stieler	
doi: 10.51324/86010930.2	
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>33</b>
Biomassa e biorefinarias: conceitos, inoculum e processo industrial	
Carlos Antônio Rufino Júnior	
Murilo Machado Amaral	
Caio César Branco Nunes	
Marielle Jordane da Silva	
Ricardo Carrasco Carpio	
doi: 10.51324/86010930.3	
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>44</b>
Previsão da demanda de potência residencial utilizando redes neurais artificiais	
Carlos Antônio Rufino Júnior	
Marielle Jordane da Silva	
Ricardo Carrasco Carpio	
doi: 10.51324/86010930.4	
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>58</b>
Análise do nível de ruído em uma modalidade de canteiro de obra no município de Caruaru – PE	
Sérgio Rodrigues de Oliveira	
Lory Maria Casé Silva	
Evandro de Souza Queiroz	
José Thiago Brandão da Silva	
Luiz Filipe Teixeira Nunes	
Arla Clara da Silva	
Maria Eduarda de Lima Silva	
doi: 10.51324/86010930.5	
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>72</b>
Comparação da remoção de metais pesados de efluentes têxteis utilizando nanopartículas magnéticas de ferro e carvão ativado	
Maria Eduarda de Lima Silva	
Cesar Santos Silva	

Erick Vinícius Bezerra Martins  
Ronaldo Ferreira da Silva Filho  
Grazielma Ferreira de Melo  
Lory Maria Casé Silva  
Igor Augusto Cavalcanti Vidal  
Shirlei Queiroz de Vasconcelos Torres  
doi: 10.51324/86010930.6

**Capítulo 7 .....90**

Estimativa das perdas de solo em relação ao fator topográfico da USLE em situações normais

Tarcisio Barcellos Bellinaso

Vania Elisabete Schneider

doi: 10.51324/86010930.7

**Capítulo 8 .....102**

Uso de DATALOGGER baseado na plataforma Arduino para o monitoramento de variáveis do conforto térmico

William de Brito Pantoja

Caio Castro Rodrigues

Katiane Pereira da Silva

Otávio André Chase

Antônio Thiago Madeira Beirão

José Felipe de Almeida

doi: 10.51324/86010930.8

**Capítulo 9 .....114**

Desenvolvimento de um sistema computacional embarcado para monitoramento de CO<sub>2</sub> IN SITU

Caio Castro Rodrigues

William de Brito Pantoja

Otávio André Chase

Antônio Thiago Madeira Beirão

José Felipe de Almeida

Katiane Pereira da Silva

doi: 10.51324/86010930.9

# Capítulo 01

## A COMPREENSÃO DOS NÚMEROS NEGATIVOS NOS *PRINCIPIOS MATHEMATICOS* DE JOSÉ ANASTÁCIO DA CUNHA

ANTONIO JOSÉ MELO DE QUEIROZ  
Universidade Estadual do Ceará

**RESUMO:** A vida e obra do português José Anastácio da Cunha (1744-1787) têm servido de tema para diversas pesquisas em História da Matemática, destacando-se o livro *Principios Mathematicos*, publicado postumamente em 1790 e considerado sua obra-prima. O texto citado aborda diversos tópicos da Matemática que, atualmente, podem ser denominados por geometria euclidiana, geometria analítica, aritmética, análise matemática, álgebra, dentre outros. Neste trabalho, o problema de pesquisa tratado é a abordagem dos números negativos presente no capítulo VIII do livro *Principios Mathematicos*. Em concordância com a intenção de pesquisa, o objetivo delineado foi compreender a forma como números negativos foram apresentados e utilizados no capítulo VIII da obra citada anteriormente. Para tanto, foi realizado um estudo bibliográfico e documental seguindo a perspectiva historiográfica atualizada situando José Anastácio da Cunha e os seus escritos no contexto das ricas discussões que ocorreram nos séculos XVII e XVIII sobre os números e seu estatuto, bem como sobre o rigor na Matemática. A versão digitalizada, pela Biblioteca Nacional de Portugal, dos *Principios Mathematicos* foi a escolhida, tendo em vista a facilidade de acesso a tal obra. O percurso metodológico seguido levou à construção de uma pesquisa descritiva e bibliográfico-documental. O resultado percebido é a ausência de discussão sobre o conceito de número negativo, também foi observado, por estudo em outras fontes, a recusa em aceitar os números negativos com o mesmo estatuto que os números positivos, no entanto, o autor aceita as regras de sinais e realiza operações algébricas sem maiores restrições, além de utilizar coeficientes negativos em equações.

**PALAVRA-CHAVE:** Anastácio da Cunha. Grandeza. Número. Conceito de número.

**ABSTRACT:** The life and work of the Portuguese José Anastácio da Cunha (1744-1787) has served as the topic for several researches in the History of Mathematics, highlighting the book *Principios Mathematicos*, published posthumously in 1790 and considered his masterpiece. The cited text addresses several topics in Mathematics that, currently, can be called Euclidean geometry, analytical geometry, arithmetic, mathematical analysis, algebra, among others. In this work, the research problem addressed is the approach of negative numbers present in chapter VIII of the book *Principios Mathematicos*. In accordance with the research intention, the objective outlined was to understand how negative numbers were presented and used in chapter VIII of the work mentioned above. To this end, a bibliographic and documentary study was carried out following the updated historiographical perspective, placing José Anastácio da Cunha and his writings in the context of the rich discussions that took place in the 17th and 18th centuries on numbers and their status, as well as on rigor in mathematics. The digitized version, by the National Library of Portugal, of the *Principios Mathematicos* was chosen, in view of the ease of access to such work. The methodological path followed led to the construction of a descriptive and bibliographic-documentary research. The perceived result is the absence of discussion about the concept of negative numbers, it was also observed, by study in other sources, the refusal to accept negative numbers with the same status as positive numbers, however, the author accepts the rules

of signals and performs algebraic operations without further restrictions, in addition to using negative coefficients in equations.

**KEYWORDS:** Anastácio da Cunha. Magnitude. Number. Number concept.

## INTRODUÇÃO

O professor, militar, poeta e estudioso da matemática, José Anastácio da Cunha, teve sua obra científica pouco analisada e divulgada até a década de 1980, assim como ocorreu com a história de Portugal do século XVIII. (FERRAZ; RODRIGUES; SARAIVA, 1990). Felizmente tal situação se reverteu, e atualmente existe uma quantidade razoável de estudos sobre diversos aspectos da atividade profissional, científica e poética de Anastácio da Cunha.

Textos como os de Vieira (1990); Guerreiro (1990); Rodrigues (2008); Santos, Lima e Ralha (2018) e Santos (2018) destacam o contexto geral e matemático, bem como atuação profissional docente de Anastácio da Cunha. Em outros estudos como Giusti (1990); Silva e Duarte (1990); Baroni (2001); Vieira (2006) e Sad (2007) encontram-se uma ênfase em partes dos seus escritos, principalmente, do livro *Principios Mathematicos* e também pesquisas que abordam a sua concepção de números negativos (Schubring, 2001; Santos, 2018).

Algumas das pesquisas citadas anteriormente discutem, de forma competente, os aspectos da análise matemática presentes em Cunha (1790) ou outros textos do autor. A partir do estudo de tais referências, de leitura preliminar dos *Principios*, que tratam de diversos tópicos da Matemática, e com o estímulo da excelente análise de Schubring (2005) sobre a discussão em torno do conceito de número e operações algébricas com os números negativos, surgiu a seguinte indagação, como José Anastácio da Cunha apresenta o conceito de número negativo e realiza operações algébricas com estes objetos nos *Principios Mathematicos*?

Em conformidade com a questão de pesquisa, o objetivo deste trabalho foi compreender a forma como números negativos e suas operações algébricas são abordadas no capítulo VIII dos *Principios Mathematicos*. A escolha deste capítulo deve-se ao conteúdo que o preenche, uma vez que, apresenta *grandezas afirmativas e subtrativas*, em denominação atual, números positivos e negativos e suas operações. Esse conteúdo, naquele período, era considerado uma introdução à álgebra.

Este estudo trilhou os caminhos de uma pesquisa histórica, cujas informações foram coletadas de fontes documentais e bibliográficas. Por documento compreende-se não



serem apenas livros e tratados, mas também cartas, manuscritos, monumentos, máquinas e outros itens. (SAITO, 2015). O principal documento utilizado neste texto foi o livro *Principios Mathematicos* de José Anastácio da Cunha, publicado em 1790 em Lisboa, porém por facilidade de acesso, a versão adquirida foi a digitalizada pela Biblioteca Nacional de Portugal, disponível no portal da Biblioteca Nacional Digital.

A investigação buscou sempre a leitura dos *Principios* associada ao diálogo com o referencial teórico para compreender a obra e seu autor em seu tempo, o século XVIII. Sobre este ponto, Saito (2015) esclarece que na historiografia atualizada busca-se partir do passado para compreender o presente e não o contrário, também faz o destaque, “[...] na medida que o conhecimento matemático do passado é contextualizado no “passado”, o historiador passa a ter acesso ao seu processo de construção.” (SAITO, 2015, p. 27). As referências mais utilizadas para esta *conversa* com a fonte primária foram Schubring (2005, 2018), Katz (2009) e Roque (2012), pois traz bem delineado o contexto dos acontecimentos relacionados aos números, seus estatutos e operações algébricas nos séculos XVII e XVIII.

Este artigo divide-se em quatro seções: introdução; Anastácio da Cunha e os *Principios Mathematicos*; os números negativos nos *Principios Mathematicos*; considerações finais.

## **ANASTÁCIO DA CUNHA E OS *PRINCIPIOS MATHEMATICOS***

José Anastácio da Cunha foi um multifacetado português dos *setecentos*, poeta, professor, estudioso da matemática e militar. A arte militar foi a primeira de suas obrigações profissionais, em 1764 assumiu posição no Regimento de Artilharia do Porto e lá permaneceu até 1773. Vieira (1990) destaca que este período foi importante na artilharia portuguesa em virtude da reorganização no exército e a implantação das aulas para oficiais e praças, estes cursos tinham um plano de ensino prévio e livros de utilização obrigatória, em sua maioria francesa, como o de Bernard Forest Bêlidor (1698-1761), estudioso francês e autor de textos didáticos de Matemática de ampla utilização.

Em relação aos números negativos, Bêlidor, na obra *Cours de Mathématiques*, os compreende como tão reais quanto os positivos, inclusive aceita soluções negativas de equações, porém ainda distingue seis tipos de equações do 2º grau com coeficientes positivos apenas. Também se percebe o uso do termo *quantidades*<sup>1</sup>, ou seja, números

---

<sup>1</sup> Ao longo do texto serão utilizados, várias vezes, os termos *quantidades negativas* e *grandezas negativas*, em referência a forma como os estudiosos citados as tratavam.



compreendidos como grandezas, sendo essa associação comum no século XVIII. (SCHUBRING, 2005). Não foi possível conseguir referências que comprovem o contato de Anastácio da Cunha com este livro, mas percebe-se que é uma obra que pode ter circulado em seu regimento.

Santos (2018) indica que, mesmo antes de suas atividades militares, Anastácio da Cunha teve contato com obras matemáticas de André Tacquet (1612-1660), Tomás Vicente Tosca e Masco (1657-1723) e Alexis Claude de Clairaut (1713-1765). Nota-se que Clairaut, assim como Bélidor, aceita e opera com números negativos, utiliza como soluções de equações quadráticas e discute a possibilidade de sua existência isolada<sup>2</sup>. (SCHUBRING, 2005). No entanto, Curado (2012) lembra que não se sabe qual texto de Clairaut foi lido por Cunha, ou seja, existe a possibilidade de contato com o pensamento do francês sobre os números negativos.

Por fim, de forma comprovada, constata-se o contato de Anastácio da Cunha com obras de Isaac Newton (1643-1727) e Thomas Simpson (1710-1761) no regimento de artilharia. Do primeiro autor ele teve acesso aos *Principia Mathematica* e *Arithmetica Universalis*, do segundo, ele estudou o *Tratado de Álgebra*. (Santos, 2018). Vale ressaltar a relevante oportunidade em acessar obras estrangeiras no regimento em que Cunha foi militar, situação propiciada pela presença de militares estrangeiros, colaborando, inclusive, para as trocas de experiências culturais. Santos, Lima e Ralha (2018) confirmam sobre o acesso a obras literárias, filosóficas e matemáticas de propriedades destes oficiais.

De acordo com Katz (2009), na *Arithmetica* Newton trata da regra de sinais para quantidades negativas, porém não entra em maiores discussões sobre estes termos e nem há tentativa de demonstração da regra. Já no *Tratado de Álgebra* de Simpson, o estudioso estabelece as quantidades negativas, opera com as mesmas, apresenta as regras de sinais para multiplicação destes objetos, porém o faz com quantidades compostas. Além disso, na discussão sobre quantidades negativas isoladas, deixa claro sua repulsa em relação a existência de números menores que zero. Ou seja, não há aceitação de quantidades negativas para além da utilização em operações algébricas. (SCHUBRING, 2005).

A partir dessa breve apresentação de alguns autores, cujas obras ou parte delas foram lidas por Anastácio da Cunha, percebe-se o contato com concepções sobre os números negativos, uma vez que, as fontes não deixam dúvidas em afirmar seu estudo da

---

<sup>2</sup>Algumas discussões sobre a regra de sinais para a multiplicação utilizavam *quantidades compostas*, são as que tem a forma  $(a-b)$ , quantidades negativas isoladas seriam da forma  $-b$ .

*Arithmetica* de Newton e do *Tratado* de Simpson, este último o influenciou no entendimento do assunto, como será visto posteriormente.

Ainda no Regimento de Artilharia do Porto, Cunha escreveu a *Carta Físico-Mathematica*<sup>3</sup>, o *Ensaio sobre as minas*, a pedido de seus superiores militares, e iniciou a escrita dos *Princípios Mathematicos*. (SANTOS; LIMA; RALHA, 2018).

A partir de 1773, José Anastácio da Cunha é destinado para lente (professor) da Cátedra de Geometria, 1º ano da Faculdade de Matemática da Universidade de Coimbra. Tal nomeação veio junto com a titulação de doutor, ambas atribuídas pelo marquês de Pombal<sup>4</sup>, que soube de suas *façanhas* matemáticas no regimento de artilharia e o indicou para a instituição recém criada. (SANTOS; LIMA; RALHA, 2018).

Albuquerque (1990) conta que a Universidade de Coimbra havia passado por reforma dos estatutos em 1772, em tal evento foi criada a citada Faculdade de Matemática, cujas normas regulatórias previam a desvinculação do ensino escolástico, valorização da prática nas diversas cadeiras e adoção de bibliografia variada e atualizada. Tudo sugere que o objetivo era deixar o ensino sincronizado com os desenvolvimentos matemáticos do século XVIII.

Ainda ancorado em Albuquerque (1990) percebe-se que a cátedra sob responsabilidade de Anastácio da Cunha tratava de assuntos da aritmética, classificação dos números, operações, potências e raízes, proporções, progressões, regras de três e logaritmos, também contava com conteúdos de geometria, referenciados nos *Elementos* de Euclides, em trabalhos de Arquimedes e de Proclo.

O intervalo em que Cunha foi professor em Coimbra parece ter sido produtivo, pois, Silva e Duarte (1990) mencionam a apresentação à congregação da Faculdade de Matemática de parte dos *Princípios Mathematicos*, para ser utilizada como texto indicado do curso. Vale lembrar que a mudança periódica de livros era indicada pelos estatutos da universidade, com o objetivo de difundir teorias recentes. É lícito pensar que a versão dos *Princípios* citada anteriormente, e que nunca recebeu resposta da solicitação, corresponda aos primeiros capítulos da publicação de 1790, uma vez que, a porção inicial do livro trata de assuntos ensinados na cátedra de responsabilidade de Cunha. Além deste trabalho, Santos (2018, p. 45) afirma que também “[...] redigiu em inglês o texto *Logarithms & powers* e deu prosseguimento aos *Princípios mathematicos* [...]”

---

<sup>3</sup> O título completo é *Carta Físico-Mathematica sobre a theorica da polvora em geral, e a determinação do melhor comprimento das peças em particular*.

<sup>4</sup> Secretário de estado no reinado de D. José I, seu nome completo era Sebastião José de Carvalho e Melo.

Ainda sobre as atividades em Coimbra, Santos, Lima e Ralha (2018) citam a querela entre Anastácio da Cunha e José Monteiro da Rocha (1734-1819) sobre o método de ensinar do primeiro, a questão ocorreu porque Cunha não seguia os métodos tradicionais de ensino da instituição, que se resumiam a expor o conteúdo e, em aula seguinte, escutar a repetição pelos alunos. Ele propunha demonstrar proposições e outras afirmações e inserir a prática pelos alunos, questão prevista nos estatutos, a proposta não foi bem aceita e Cunha recebeu críticas de Monteiro da Rocha.

Encerrando esta etapa da vida de Anastácio da Cunha veio o processo inquisitório. Em 1777, o marquês de Pombal foi destituído do cargo e, conseqüentemente, como traz Queiró (1992, p. 8) “[...] os setores sociais e políticos que ele tinha reprimido tão violentamente depressa foram reabilitados[...]”, entre estes, a inquisição, pela qual Cunha foi preso e condenado em 1778. Dois pontos devem ser destacados dos relatos, o primeiro é afirmação de Anastácio da Cunha já ter concluído os *Principios Mathematicos*, ou seja, a obra já estava escrita em 1778. O segundo ponto é a lista de livros da biblioteca de José Anastácio da Cunha, inventariada no processo citado e que de acordo com Giusti (1990) relata obras de Euclides, Newton, d’Alembert<sup>5</sup>, Muller<sup>6</sup>, Bézout<sup>7</sup>, Bossut<sup>8</sup>, Tosca e Euler<sup>9</sup>.

É importante enfatizar, brevemente, a compreensão de algumas destas figuras sobre os números negativos para a visualização da teia em torno deste conceito e de Anastácio da Cunha. D’Alembert foi o estudioso francês que reforçou uma ruptura com o cenário que estava se construindo para aceitação das quantidades negativas, uma discussão ampla e profunda se faz em Schubring (2005) ou Schubring (2018). Os textos de d’Alembert trazem: aceitação das operações com quantidades negativas; contestação da generalidade da álgebra; repulsa às grandezas negativas isoladas; a compreensão de um zero absoluto e a indicação que solução negativa de uma equação implicaria a necessidade de reformular o problema, posição mais severa que aquela defendida por Clairaut, de reinterpretar soluções negativas. (SCHUBRING, 2018).

As ideias de d’Alembert tiveram ampla difusão, no entanto, os livros de Bézout foram, nas palavras de Schubring (2018, p.73), “[...] o manual dominante, se não exclusivo, nas escolas militares na França.” E, assim, Bézout difundiu e ampliou a defesa da aceitação de operações com quantidades negativas e a visão de que estas eram reais como as positivas, no entanto quando tratava de soluções negativas de equações, propunha a reinterpretação

---

<sup>5</sup> Jean le Rond d’Alembert (1717-1783) estudioso francês.

<sup>6</sup> John Muller (1699-1784) estudioso alemão que viveu na Inglaterra.

<sup>7</sup> Étienne Bézout (1730-1783) estudioso francês.

<sup>8</sup> Abbé Charles Bossut (1730-1814) estudioso e professor de Matemática francês.

<sup>9</sup> Leonhard Euler (1707-1783) estudioso suíço que viveu na Rússia e Alemanha.

do problema, ou seja, em d'Alembert e Bézout percebe-se que não há questionamento ou recusa para utilização das operações algébricas com os negativos, o que existe é a não aceitação das quantidades negativas isoladas e admitindo que elas não tivessem as mesmas funções que as positivas.

Observa-se que Anastácio da Cunha tinha acesso a obras e autores que estiveram no centro das discussões sobre o estatuto dos números negativos. Giusti (1990) lembra que o livro de Bézout catalogado na biblioteca de Cunha parece ser o de geometria e não a obra completa que continha álgebra, porém é preciso lembrar que, enquanto esteve em Coimbra, o livro adotado na cátedra de álgebra era o de Bézout, ou seja, também foi possível o contato com tal texto na universidade. Já Santos (2018) traz a afirmação de uma carta, atribuída a Brunelli<sup>10</sup>, que Cunha tinha conhecimento de obras de d'Alembert.

Outro autor citado acima, Euler, “[...] já via a álgebra como a ciência dos números, e não das quantidades.”(ROQUE, 2012, p. 442). Também compreendia que a base da Matemática deveria ser constituída de números que poderiam representar todas as grandezas, os positivos seriam construídos com adições sucessivas e os negativos com subtrações, no entanto seus escritos não tiveram grande influência no século XVIII. (ROQUE, 2012). Katz (2009) afirma que Euler tratou das quantidades negativas e descreveu a regra de sinais sem maiores detalhes, bem como discorreu que os números poderiam ser maiores, menores ou iguais a zero. Anastácio da Cunha foi crítico de Euler, Giusti (1990) cita tal fato e, em uma carta de 1785, percebe-se o tom irônico de Cunha (1990) ao tratar o autor suíço como deus de Coimbra e José Monteiro da Rocha como seu profeta, além de relatar a postura radical de Euler em favor da álgebra.

Por fim, um dos livros citados no processo de inquirição é de Bossut. Anastácio da Cunha tinha as publicações de 1772 e 1773, ou seja, o *Tratado elementar de aritmética* e *Tratado elementar de álgebra*. (GIUSTI, 1990; SCHUBRING, 2005). Novamente, levando em consideração a questão das quantidades negativas, tem-se que este autor francês ancora a compreensão de tais objetos a partir da concepção de oposição às quantidades positivas, vale também o relato da aceitação das operações algébricas, da multiplicidade de raízes, forma normal de equação do 2º grau e solução geral para tal equação.

Compreende-se que Cunha lidou com textos de autores, em sua maioria franceses, com algumas concepções diferentes sobre os números negativos, tais estudiosos utilizavam estes objetos em operações algébricas e aceitavam as regras de sinais, porém

---

<sup>10</sup> João Ângelo Brunelli (1722-1804), estudioso italiano, foi professor do Colégio dos Nobres em Portugal. (Santos, 2018).

havia discordância sobre o estatuto dos números negativos, de seu uso como quantidades isoladas e de soluções negativas de equações, enfim, observa-se uma riqueza de concepções característica do século XVIII.

Após o período de condenação pela inquisição, que manteve Cunha recluso por 3 anos, tem-se notícia de suas atividades na Casa Pia de Lisboa. Rodrigues (2008) e Santos (2018) salientam suas atividades na construção do plano de estudos científicos do Colégio de São Lucas da Casa Pia, uma vez que, eram oferecidos ensinamentos de ciências matemáticas e físicas, História Natural, Química e até Farmácia. Cada curso contava com docente e alguns de seus alunos seguiram estudos científicos, tanto na Universidade de Coimbra como na Academia da Marinha.

Enquanto esteve na Casa Pia, um fato relevante para a narração da relação entre José Anastácio e os números negativos é a solicitação da aquisição do *Tratado de Álgebra* de Simpson, citado anteriormente, visando à utilização no ensino do Colégio São Lucas. (SANTOS, 2018). Isto mostra o valor atribuído à obra do inglês.

Schubring (2005, p. 605) realça a escolha de Anastácio da Cunha pela concepção de Thomas Simpson sobre as quantidades negativas ao afirmar que “[...] recebeu e propagou a rejeição inglesa das quantidades negativas [...]”. E ainda pode-se observar a preferência pelo texto de Simpson em Cunha (1990, p. 360) ao referir-se a “[...] sua excelente Álgebra[...]” para tratar da impossibilidade de solução negativa em determinado exemplo de equação. É perceptível a proximidade entre Anastácio da Cunha e o escrito citado, o possível primeiro contato ainda no regimento de artilharia, a citação em carta, a indicação como referência no ensino da Casa Pia são evidências interessantes.

A próxima seção apresenta partes do capítulo VIII dos *Principios Mathematicos* que se relacionam com conceitos de números negativos e dão indícios do juízo que Cunha fazia de tais objetos matemáticos.

## **OS NÚMEROS NEGATIVOS NOS *PRINCIPIOS MATHEMATICOS***

O texto dos *Principios Mathematicos* utilizado nesta pesquisa é o que foi publicado em 1790, o qual foi digitalizado e disponibilizado na internet pela Biblioteca Nacional de Portugal através da Biblioteca Nacional Digital. A obra é formada por 21 capítulos, tratados como livros, uma errata e uma sequência de figuras ao fim do livro. Este estudo abordou o capítulo VIII, que traz conceitos relativos a grandezas negativas e positivas e assuntos relacionados a operações algébricas.

Já na primeira página do referido capítulo, Cunha (1790, p.100) faz duas suposições que se relacionam com a sua concepção de grandezas negativas e positivas, pois propõe a aquelas com sinal positivo, “para se juntar a alguma grandeza” e às precedidas de sinal negativo, “para se tirar de alguma grandeza.” Visualiza-se a associação do sinal com as operações de adição e subtração e não como representante de uma qualidade, ou característica da grandeza, outra evidência disso é a nomenclatura, sendo que as grandezas com sinal positivo são chamadas aditivas e as com sinal negativo de subtrativas.

Na sequência, Anastácio da Cunha define grandezas contrárias como aquelas com sinais diferentes e utiliza a definição para escrever sobre o resultado de uma soma com grandezas contrárias e diferentes que seria “[...] a grandeza que se chamaria diferença dellas, se se não suposessem contrarias, e é contraria à menor.” (CUNHA, 1790, p. 101). Esta afirmação, atualmente, é a regra da *soma e preserva o sinal do maior número*, que sempre se escuta nas escolas de educação básica.

Digno de observação é sua opinião do zero como representante do nada, Cunha (1790, p. 101) escreve, “Por somma de duas grandezas iguaes e contrarias, entende-se o mesmo que pela palavra, nada, ou pelo character 0 [...]”. Vê-se pela citação anterior uma evidência da visão de um zero absoluto, em concordância com Simpson e d’Alembert que não acolhiam a ideia de grandezas menores que zero e, divergindo de estudiosos como Newton, que aderiu a convicção de grandezas positivas maiores que zero e negativas menores que zero. (SCHUBRING, 2005).

Na suposição V, Anastácio da Cunha aborda um ponto que gerou uma controvérsia duradoura no século XVII, a proporcionalidade entre grandezas contrárias, segue seu juízo sobre o assunto.

Grandezas proporcionaes [...] suppose-haõ sempre proporcionaes, excepto se huma antecedente e a sua consequente forem contrarias entre si, não sendo outra antecedente e sua consequente contrarias entre si. (CUNHA, 1790, p. 101).

Assim, é possível visualizar que Cunha acata a possibilidade de proporcionalidade entre números com sinais distintos, diferentemente de estudiosos como Antoine Arnauld (1612-1694) que se envolveu em uma longa discussão com Jean Prestet (1648-1691) sobre a dita proporcionalidade, uma vez que esta situação contradiz relações entre os termos da proporção, esse acontecimento é relatado por Schubring (2005).

A suposição de Cunha também difere de outro influente estudioso, Colin MacLaurin (1698-1746). MacLaurin defendia a igualdade entre razões do tipo  $a:b$  e  $a:-b$ , uma vez que para a proporção deveria importar apenas o valor absoluto, não teria relevância as



qualidades, compreendendo os sinais como representantes de qualidades que dão direção às grandezas. D'Alembert foi outro estudioso que abordou o tema, no entanto com a concepção da impossibilidade de tais razões com termos negativos e utilizou o argumento da teoria geométrica das proporções. (SCHUBRING, 2005).

Como consequência da suposição V, citada anteriormente, Anastácio da Cunha enuncia, sem demonstração, três corolários importantes para o trato com números negativos. O primeiro deles é o “Producto de dois factores contrarios he negativo; de dois factores não contrarios, positivos.” (CUNHA, 1790, p. 102). Esse corolário se refere a regra de sinais para a multiplicação. Uma vez que o autor a percebe como deduzida da suposição V, portanto ele deve ter utilizado o seguinte resultado referente às proporções,  $1:a :: b:ab$ , ou seja, a unidade está para um fator, assim como, o outro fator está para o produto, para concluir a afirmação do corolário.

É relevante mencionar que as regras de sinais foram amplamente abordadas nos séculos XVII e XVIII. Thomas Simpson, por exemplo, as concebia e utilizava para quantidades compostas, porém, como rebatia o uso de quantidades negativas isoladas, não acolheu o produto das mesmas por uma ausência de significado. (SCHUBRING, 2005). Ainda vale destacar que, no capítulo VIII, Cunha também não multiplica quantidades negativas isoladas, existe apenas a menção da operação no primeiro corolário.

Os outros dois corolários referem-se à regra de sinais na divisão e a ausência de raiz quadrada para números negativos, também como consequência da suposição V. Acredita-se que o estudioso deve ter visualizado o mesmo argumento anterior para tirar estas conclusões.

Na sequência, Cunha (1790, p. 102) traz a “Praxe de multiplicação de sommas indicadas”, uma seção com dois exemplos de multiplicação de quantidades compostas, ou seja, quantidades literais somadas ou subtraídas de outras. Na operação de multiplicação fica evidente a ênfase às regras de sinais, uma vez que, na primeira situação de multiplicação de um termo positivo e outro negativo, Cunha refere-se ao corolário que se discutiu anteriormente. Vale citar o caráter aparentemente pedagógico do primeiro exemplo, uma vez que, Anastácio da Cunha realiza as operações algébricas, passo a passo, indicando as multiplicações e os sinais que serão utilizados. As adições e subtrações não são realizadas, apenas se indica o resultado final. No segundo exemplo, o autor realiza a sequência de multiplicações e adições sem detalhamento. Observe-se que o estudioso não multiplica quantidades negativas isoladas, mas sempre adicionadas a outros termos.

Na última seção do capítulo VIII dos *Principios*, Anastácio da Cunha traz a divisão de quantidades compostas com a ressalva de “[...] quando nos termos do dividendo e



divisor [...] está repetido diversas vezes como factor hum mesmo numero.” (CUNHA, 1790 p. 103). Assim, os termos do quociente devem conter potências. Observa-se que estas não foram representadas com os expoentes, mas apenas pela repetição das letras em cada situação, diferentemente do capítulo X em que os expoentes se fazem presentes.

Cunha opera a divisão detalhadamente em um exemplo, apresentando os diversos passos. Vale citar que a utilização das regras de sinais e as operações com quantidades negativas ocorrem sem restrições, por exemplo, quando Cunha (1790, p.104) diz “[...] de  $-2ayyy$  a  $+0$  vai  $+2ayyy$  [...]”, referindo-se à subtração de  $-2ayyy$  do zero. Ainda neste trecho, percebe-se o zero acompanhado de sinal positivo, no entanto Anastácio da Cunha havia comparado o zero ao nada, em seção anterior do capítulo, então é possível que este sinal tenha relação com a ausência da concepção de zero como termo neutro que agrega os números positivos em uma direção e os negativos em outra.

Por fim, chama a atenção o último axioma do capítulo VIII, “A experiencia tem provado que estas praxes são seguras.” (CUNHA, 1790 p. 105). Esta afirmação é curiosa pelo fato de as praxes da multiplicação e divisão serem consequências, principalmente, das regras de sinais. Tais regras, por sua vez, são corolários da suposição V, então, existia dúvida na referida suposição? Se a resposta for afirmativa, não é surpresa, no ambiente do século XVIII em que os estudiosos do tema se dividiam em relação ao assunto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os *Principios Mathematicos* não abordam uma discussão explícita sobre a natureza dos números negativos ou sobre as regras de sinais, como ocorre na obra de Thomas Simpson, porém, em breves passagens do capítulo VIII, é possível perceber indícios da posição de José Anastácio da Cunha em relação a tais assuntos, como a utilização do termo *grandeza* para referir-se a número e a definição de zero como *nada*.

Os indícios associados ao contexto matemático dos séculos XVII - XVIII e às obras, com seus autores, que Cunha teve acesso permitem colocá-lo como um estudioso em seu tempo. Um período de mudanças de concepções sobre o estatuto dos números, inclusive dos números negativos. Além disso, os vestígios levam a determinação de possíveis influências sobre o autor e obra.

Desta forma, acredita-se que o objetivo principal do trabalho foi concretizado, atingindo a compreensão da forma como os números negativos são apresentados no capítulo VIII. Também foi possível recolher indícios da opinião de Anastácio da Cunha sobre estes objetos e associá-los ao que a literatura já indicava. Por fim, indica-se uma direção

para o prosseguimento do trabalho, a saber, compreender e analisar questões análogas em relação aos números irracionais e complexos, além de estudar tais números como raízes de polinômios nos *Principios Mathematicos*.

## REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, L. O ensino da Matemática a Reforma Pombalina. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 19-25.

BARONI, R. L. S. Aspects of differential equations in José Anastácio da Cunha's Mathematical Principles. **Revista Brasileira de História da Matemática**, Rio Claro, v. 1, n. 2, p. 27-36, out. 2001.

CUNHA, J. A. Carta de J. A. da Cunha a João Manuel de Abreu, de 3/6/1785. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 359-370.

CUNHA, J. A. **Principios Mathematicos**. Lisboa: Officina de Antonio Rodrigues Calhardo, 1790. Disponível em: <http://purl.pt/13843>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CURADO, S. C. Algumas notas sobre José Anastácio da Cunha, enquanto militar. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática**, Lisboa, n. 67, p. 227-242, out. 2012. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/boletimspm/issue/view/303>. Acesso em: 22 jul. 2020.

FERRAZ, M. L. A; RODRIGUES, J. F; SARAIVA, L. Sobre o colóquio e sua contribuição para a análise da vida, obra e época de José Anastácio da Cunha. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. XIX-XXX.

GIUSTI, E. Quelques réflexions sur les *Principios* de da Cunha. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 33-52.

GUERREIRO, J. S. Anastácio da Cunha e as matemáticas em Portugal. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 27-30.

KATZ, V. J. **A history of mathematics**. Boston: Addison-Wesley, 2009.

QUEIRÓ, J. F. José Anastácio da Cunha: um matemático a recordar, 200 anos depois. **Matemática Universitária**, Rio de Janeiro, n. 14, p. 5-27, dez. 1992. Disponível em: <https://rmu.sbm.org.br/artigos/>. Acesso em: 30 jul. 2020.

RODRIGUES, N. B. Para a utilidade do Estado e “Glória à Nação”: a Real Casa Pia de Lisboa nos tempos de Pina Manique (1780-1805). **Revista Territórios e Fronteiras**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 25-46, jul./dez. 2008. Disponível em: <http://ppghis.com/territorios&fronteiras/index.php/v03n02/issue/view/2/showToc>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ROQUE, T. **História da Matemática**: uma visão crítica, desfazendo mitos e lendas. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.

SAD, L. A. Relações epistemológicas de elementos históricos do cálculo a partir da obra *Principios Mathematicos* de José Anastácio da Cunha. **Revista Brasileira de História da Matemática**, Rio Claro, n. 01 (especial), p. 493-504, dez. 2007. Disponível em: <http://www.rbhm.org.br/Festschrift%20-%20Ubi%20-%20index.html>. Acesso em: 10 ago. 2020.

SAITO, F. **História da matemática e suas (re)construções conceituais**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

SANTOS, A. M. **José Anastácio da Cunha (1744-1787) e aspectos de seu ensino: “Sobre a natureza das quantidades negativas”**. 2018. 157f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/21278>. Acesso em: 02 jul. 2020.

SANTOS, A. M.; LIMA, G. L.; RALHA, M. E. José Anastácio da Cunha (1744-1787): Professor de Matemática. **Rematec**, Belém, n. 27, p. 76-93, jan./abr. 2018. Disponível em: <http://www.rematec.net.br/index.php/rematec/article/view/125>. Acesso em: 15 ago. 2020.

SCHUBRING, G. Novas fontes e abordagens na história dos números negativos: uma análise de um manuscrito do Monteiro da Rocha. In: Seminário Nacional de História da Matemática, 4, 2001, Natal. **Anais...** Rio Claro: Editora da SBHMat, 2001. p. 95-108. Disponível em: [https://www.sbhmat.org/conteudo/view?ID\\_CONTEUDO=372](https://www.sbhmat.org/conteudo/view?ID_CONTEUDO=372). Acesso em: 10 jun. 2020.

SCHUBRING, G. **Conflicts between generalization, rigor and intuition**. New York: Springer, 2005.

SCHUBRING, G. **Os números negativos: exemplos de obstáculos epistemológicos?**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

SILVA, J. C.; DUARTE, A. L. Os *Principios Mathematicos* de José Anastácio da Cunha. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas...** Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 81-95.

VIEIRA, B. O ensino científico-militar em Portugal no século XVIII - Anastácio da Cunha, discípulo da Aula de Artilharia na Praça de Valença do Minho. In: José Anastácio da Cunha (1744-1747): o matemático e o poeta. Colóquio Internacional, 1987, Lisboa. **Actas**... Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 1990. p. 7-17.

VIEIRA, R. S. A. **As secções cônicas na obra de José Anastácio da Cunha: um estudo comparativo**. 2006. 238f. Dissertação (Mestrado em Matemática) - Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006. Disponível em: <https://ria.ua.pt/handle/10773/2894>. Acesso em: 02 jul. 2020.

# Capítulo 02

## O ENSINO DE FÍSICA COMO UM COMPROMISSO COM A VIDA: ESTUDO DE CASO NO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, UNEMAT, TANGARÁ DA SERRA-MT

### **ELIAS ANTUNES DOS SANTOS**

Professor da Universidade do Estado de Mato Grosso, Doutorando em Educação em Ciências e em Matemática (UFPR)

### **LEONICE APARECIDA DE FÁTIMA ALVES PEREIRA MOURAD**

Doutora em História (UNISINOS), professora da Universidade Federal de Santa Maria

### **HELLEN CRISTINA DE SOUZA**

Doutora em Ciências Sociais, professora aposentada SEDUC-MT

### **MARINEZ CARGNIN-STIELER**

Doutora em Engenharia Elétrica, professora sênior-UNEMAT

**RESUMO:** O presente capítulo tem interesse em ampliar as discussões sobre ações desenvolvidas no ensino e aprendizagem na área das Ciências da natureza, em especial da Física. Relata-se o envolvimento dos acadêmicos dos primeiros semestres do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) no Campus Universitário em Tangará da Serra, em grupos de trabalhos com o objetivo de incentivar os alunos na aprendizagem e aumentar as percepções a respeito das dificuldades enfrentadas na sociedade. Os trabalhos práticos em geral envolveram planejamento e execução de máquinas, de pisos permeáveis, uma estufa agrícola entre outros. Foram analisados os relatórios dos alunos, as entrevistas, as observações e registros realizados pelo professor da disciplina. Com os resultados foi possível perceber que os alunos envolvidos nas atividades em que estavam ativamente engajados contribuíram para potencializar o rendimento acadêmico, influenciando diretamente nos índices de aprovações e permanência no Curso.

**PALAVRA-CHAVE:** Ensino e aprendizagem, cooperação, Educação em Ciências. Extensão.

**ABSTRACT:** This chapter is interested in expanding the discussions on actions developed in teaching and learning in the natural sciences area, especially physics. Academics involvement from the first semesters of the Civil Engineering course is reported at the State University of Mato Grosso (UNEMAT) at the University Campus in Tangará da Serra, in work groups with the aim of encouraging students in learning and increasing perceptions regarding the difficulties faced in society. Practical work in general involved planning and executing machines, permeable floors, a greenhouse agricultural, among others. The students' reports, interviews, observations and records made by the discipline professor were analyzed. With the results it was possible to perceive that the students involved in the activities in which they were actively engaged contributed to enhance the academic performance, directly influencing the approval rates and permanence in the Course.

**KEYWORDS:** Teaching and learning, cooperation, Science Education. Extension.

## INTRODUÇÃO

As denominadas Ciências da natureza epistemologicamente contemplam áreas do conhecimento/disciplinas que, privilegiam aspectos ou os fatores físicos da existência, voltando-se aos estudos da natureza, diferentemente das Ciências Sociais que se interessam pelos aspectos ou os fatores humanos e sociais.

A Biologia, a Física, a Química, a Geologia e a Astronomia são áreas das Ciências da natureza, sendo que as três primeiras são disciplinas curriculares das Escolas Básicas do Brasil cujo propósito é fazer com que o aluno, como parte integrante da natureza, compreenda o mundo e atue como cidadão na utilização de conhecimentos de natureza científica e tecnológica.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) aprovado em 1997, nas Ciências Naturais afirma que “o papel das Ciências Naturais é o de colaborar para a compreensão do mundo e suas transformações, situando o homem como indivíduo participativo e parte integrante do Universo” (BRASIL, PCN's, 1997, p. 15). e na Base Nacional Curricular Comum (BNCC) aprovada em 2019 na área das Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias,

(...) ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. Em outras palavras, apreender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação o e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania (BRASIL, 2019, p. 323).

Pensar o ensino das ciências da natureza desde uma perspectiva que reflita um compromisso com as pautas ambientais e com o papel e das ciências na modernidade que é o de facilitar a vida e promover a cidadania em sociedades social e economicamente desiguais e que sofrem com o crescimento das tragédias ambientais se apresenta como um desafio para professores tanto da Educação Básica quanto do Ensino Superior no Brasil.

Ao procurar vincular a experiência do ensino de ciências, aqui analisada, com os temas mais amplos das diversidades étnicas e culturais e conseqüentemente dos saberes tradicionais ou saberes práticos, esse texto procura mostrar que as experiências de ensino e aprendizagem inspiradas nas metodologias do ensino por projetos, podem potencializar as discussões sobre os saberes considerados não acadêmicos no ensino superior e as possibilidades que os diálogos com tais saberes apresentam para produzir algum impacto no cotidiano da sociedade e no mundo do trabalho.

No Brasil, os primeiros anos do século vinte e um foram marcados pela intensificação das discussões sobre a diversidade étnico culturais no âmbito das políticas públicas educacionais. Foi nesse contexto de visibilidade crescente e de ampliação das discussões sobre educação escolar, desde um recorte étnico e cultural que se estabeleceu pela primeira vez na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) no Campus Universitário em Tangará da Serra um conjunto de discussões em torno do tema da Diversidade étnica propostas pelo Núcleo de Atividades, Estudos e Pesquisa sobre Educação, Ambiente e Diversidade (NEED).

O NEED, constituiu-se a partir de um grupo de professores da universidade que também atuavam na Educação Básica e de professores das Escolas Indígenas Umutina e Paresí e das Escolas do Campo localizadas no Assentamento Antônio Conselheiro. A expansão destas discussões sobre a diversidade desemboca na realização do I Fórum de Educação e Diversidade em 2003 e na institucionalização do Núcleo como um Grupo de Pesquisa junto ao CNPq, em 2004, como o primeiro grupo de pesquisa certificado do Campus na UNEMAT em Tangará da Serra.

No Campus tais discussões estavam inicialmente relacionadas aos professores do Curso de Letras e do Programa de Ciências Agroambientais (PCAA) que levou a implantação dos cursos de Agronomia e Ciências Biológicas nos primeiros anos do século XXI. No entanto, na última década com a coordenação do NEED sendo realizada por professores que também acumulavam a coordenação do curso de Engenharia Civil, as discussões e Projetos do Núcleo contaram com a participação de professores do curso de Engenharia Civil.

A partir de 2009 o Núcleo estabelece uma parceria com o Centro de Formação e atualização dos Profissionais da Educação Básica (Cefapro) Polo de Tangará da Serra e desde então um conjunto de atividades ligadas à formação continuada dos professores da Educação Básica pensadas para as escolas das modalidades campo, quilombo e indígenas. A demanda dos professores das escolas das modalidades por formação continuada na área das Ciências da natureza trouxe para os professores do Campus uma porta aberta para o trabalho de extensão e de pesquisa em parceria com professores e lideranças de comunidades tradicionais e professores e pesquisadores de outras universidades.

O projeto de formação docente específico para a área das Ciências da natureza que se realizou na Estadual Indígena Jula Paré, do povo indígena Balatiponé Umutina entre os anos 2009 e 2014 constitui parte do relato que compõe atualmente o Banco de Experiências Exitosas do Programa de Apoio ao Setor educacional do Mercosul (PASEM). Tendo



concorrido a 2ª Edição do Prêmio Paulo Freire em 2014 com o título: Políticas de Formação Continuada e Educação Escolar Indígena na Rede Estadual de Ensino em Mato Grosso/Brasil. No contexto das escolas indígenas o papel do ensino está muito claramente subordinado às demandas da comunidade pela sobrevivência e ao cuidado com o ambiente:

(...) atender as necessidades e criar condições para que o povo Indígena Umutina continue a lutar pela sobrevivência étnica e cultural proporcionando-lhe melhor qualidade de vida, através de ações na área de educação, proporcionando alternativas, para geração de renda familiar, com aproveitamento dos recursos existente na Terra Indígena Umutina. (Sala de Educador, 2013, p. 09)

Esse papel atribuído a educação escolar entre os Balatiponé Umutina está próximo das concepções que orientaram as escolhas metodológicas e filosóficas presentes nos relatos de experiência que compõe este texto e que, é possível afirmar, se distanciam do modo como historicamente se configurou o ensino das Ciências da natureza no Brasil.

## **HISTÓRIA DO ENSINO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA**

Pensar o ensino de ciências no Brasil é pensar a trajetória da educação no mesmo contexto, uma vez que as diferentes concepções de ensino presentes nesse espaço permearam o ensino de ciências, fortemente influenciado por um conjunto de transformações que se processam na sociedade como um todo.

Na década de 50, houve uma reestruturação do currículo educacional influenciado pelo manifesto pioneiro da Escola Nova de 1932. Este manifesto teve seu papel importante na educação brasileira, servindo de base para a primeira lei sobre as Diretrizes e Bases da Educação Nacional.

Nas décadas de 50 e 60 no Brasil, as Ciências da Natureza eram ministradas nas duas séries finais do curso ginasial (Ensino Fundamental). Conforme o Decreto-Lei nº 4.244, de 09 de abril de 1942, que trata da Lei Orgânica do Ensino Secundário (Ensino Médio), o mesmo deveria ser ministrado em dois ciclos, sendo o primeiro, curso ginasial, com duração de quatro anos, e o segundo, os cursos clássico ou científico, com duração de três anos cada (BRASIL, 1942). O ensino de Ciências da natureza da época recebia influências dos currículos norte-americanos e ingleses, inclusive, com a adoção de livros didáticos desses outros contextos e a perpetuação do método expositivo nas salas de aula (KRASILCHIIK, 2000).

Neste contexto era mencionada a substituição de metodologias expositivas por uma metodologia mais ativa, tendo como alvo a participação do aluno em seu processo de aprendizagem. Nesse sentido, desde a “Escola Nova”, ocorreu a tentativa de ajustar o ensino às novas correntes pedagógicas, que consideravam os métodos de ensino, os avanços da psicologia, colocando o aluno no centro do processo de ensino e aprendizagem (DASSIE; ROCHA, 2003).

Com a promulgação da Lei nº 4.024, de 20 de dezembro de 1961, que fixa as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), a primeira LDB brasileira, o ensino das Ciências da natureza passou a ser obrigatório em todas as séries do curso ginásial (BRASIL, 1961). Precisa-se mencionar que naquela ocasião, predominava a concepção pedagógica denominada de tecnicista, havendo então a sobreposição da metodologia científica em relação às outras metodologias do ensino de Ciências da natureza.

O ensino de ciências caracterizava-se pela produção de um conhecimento supostamente neutro, produzido em laboratório, afastado da vida e dos problemas reais e cotidianos (ZUIN et al., 2008). O ensino tradicional predominava, os professores continuavam a transmitir os conhecimentos acumulados através das aulas expositivas, e os alunos reproduziam as informações recebidas, educação bancária mencionada por Paulo Freire.

Diante da reforma da primeira LDB, por meio da Lei nº 5.692, de 11 de agosto de 1971, que fixou as Diretrizes e Bases para o ensino de 1º e 2º graus, o ensino de Ciências da natureza passou a ser obrigatório em todas as oito séries do primeiro grau (BRASIL, 1971). Nesse momento da educação brasileira, o primeiro grau unificou o curso primário e o curso ginásial existentes na LDB de 1961.

Cumprir destacar que lentamente, o escolanovismo, movimento iniciado na década de 30 no Brasil, passou a influenciar as práticas pedagógicas desenvolvidas nas escolas de tal sorte que a participação ativa dos alunos passa a ganhar centralidade, assim como as atividades de natureza prática.

No ano de 1972 o governo federal, por meio da ação do Ministério da Educação e Cultura lança um programa para qualificar o ensino de ciências que implicou na produção de material didático e na formação de professores denominado na época segundo grau.

Nos anos 1980 diante das mudanças pelas quais passou a sociedade, temas como meio ambiente, saúde e tecnologia passam a incorporar os currículos escolares.

Com a aprovação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, ocorreu a regulamentação da Base Nacional Comum, complementada por uma parte diversificada, nas escolas (BRASIL, 1996). Krasilchik

assevera que a LDB trata da “formação básica do cidadão na escola fundamental exige o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo, a compreensão do ambiente material e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade” (2000, p. 87).

Os PCN – Ciências Naturais apontam as principais tendências do ensino de Ciências da natureza na parte que trata da caracterização da área. Essas tendências educacionais são: tendência empirista/indutivista, tendência Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), tendências progressistas e tendência construtivista (BRASIL, 1997).

A tendência empirista/indutivista está assentada na premissa que cabe ao aluno fazer essa descoberta, através de etapas pré-estabelecidas e reverberar o resultado colocando em operação o método científico. Durante muito tempo esta perspectiva preponderou sobre outras metodologias do ensino de Ciências da natureza. Também denominada de aula expositiva é a modalidade mais comum no ensino (CARGNIN-STIELER, 2014). O que caracteriza a aula expositiva é o professor que discorre ou expõe determinado tema a um grupo de alunos, sendo o dono do saber, ou seja, o ensino centrado no professor/conteúdo.

Foi a partir da década de 1980 com a incorporação de novas temáticas (ambiente, saúde e tecnologia) é que se constituiu a tendência Ciência, Tecnologia e Sociedade cuja principal contribuição foi questionar a neutralidade científica e a objetividade do desenvolvimento tecnológico, asseverando que as Ciências da natureza são influenciadas por aspectos políticos, educacionais e sociais de produção da Ciência e da Tecnologia no Brasil.

Necessita-se mencionar que essa tendência de ensino está intimamente ligada com as tendências progressistas de educação: a Educação Libertadora, de Paulo Freire e a Pedagogia Crítico-Social dos Conteúdos, de Dermeval Saviani. “Era traço comum a essas tendências a importância conferida aos conteúdos socialmente relevantes e aos processos de discussão em grupo” (BRASIL, 1997, p. 22).

Cumprir destacar as denominadas tendências construtivistas, desde 1980 até os dias atuais, orienta-se ao processo de construção do conhecimento pelo aluno, valorizando os conceitos cotidianos trazidos das experiências anteriores à escolarização (BRASIL, 1997). Este modelo recebe críticas em razão de valorizar a construção do conhecimento científico e suas relações com o entorno social no Brasil e aceitação em países como Portugal.

Nos PCN's encontra-se que estas tendências não substituíram umas as outras, de tal sorte que elas coexistem nas práticas pedagógicas do ensino das Ciências da natureza,

cabendo ao professor fundamentar-se na tendência de ensino que, a partir da sua postura profissional, mostra-se mais capaz de promover a aprendizagem do seu aluno.

Em 2001, foi formalizado um convênio entre as Academias de Ciências do Brasil e da França, com a criação do Programa ABC na Educação Científica – Mão na Massa (USP, 2012; HAMBURGER, 2004) que, segundo o autor, é um projeto piloto para avaliar como o ensino de ciências com experimentação deve ser colocado em prática nas escolas brasileiras. Esse projeto piloto tem como referência o projeto francês *La main à la Pâte* (Lamap), criado em 1996 por Georges Charpak, destinado à melhoria do ensino de Ciências Naturais nas primeiras séries escolares.

Tema importante da discussão do ensino de ciências é a denominada alfabetização científico-tecnológica que vem sendo debatida como um dos objetivos de Ciências da natureza no processo de escolarização, cabendo destacar, no entanto, que o tema é controverso no que tange a definição e caracterização (SASSERON; CARVALHO, 2007).

Segundo Hermes(2019) alguns autores citam a alfabetização científico-tecnológica, na mesma perspectiva, outros a citam como alfabetização científico-tecnológica para a cidadania, retomando uma ideia de alfabetização defendida por Paulo Freire, para quem a alfabetização não se restringe ao domínio do código escrito, permitindo a leitura crítica da realidade e, nesta, a cidadania e a transformação social. Desta forma a alfabetização científico-tecnológica é “o processo pelo qual a linguagem das Ciências Naturais adquire significados, constituindo-se um meio para o indivíduo ampliar o seu universo de conhecimento, a sua cultura, como cidadão inserido na sociedade” (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001, p. 52-53).

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisa Educacionais Anísio Teixeira (INEP) utiliza o conceito de letramento científico, na BNCC, sendo um objetivo do ensino fundamental:

A capacidade de empregar o conhecimento científico para identificar questões, adquirir novos conhecimentos, explicar fenômenos científicos e tirar conclusões baseadas em evidências sobre questões científicas. Também faz parte do conceito de letramento científico a compreensão das características que diferenciam a ciência como uma forma de conhecimento e investigação; a consciência de como a ciência e a tecnologia moldam nosso meio material, cultural e intelectual; e o interesse em engajar-se em questões científicas, como cidadão crítico capaz de compreender e tomar decisões sobre o mundo natural e as mudanças nele ocorridas. O letramento científico refere-se tanto à compreensão de conceitos científicos como à capacidade de aplicar esses conceitos e pensar sob uma perspectiva científica (BRASIL/BNCC, 2019).

Em síntese, as metodologias mais comuns no ensino de ciências foram a metodologia tradicional desde o século 19, tecnicista com início em 1950, investigativa a partir de 1970 no qual o foco é a resolução de problemas com hipóteses, investigação e registros da aprendizagem (REVISTA NOVA ESCOLA, 2009).

Portanto, pensar o ensino das Ciências da natureza como uma resposta as demandas sociais, como uma forma de facilitar a vida da comunidade e com compromissos ambientais definidos ainda é um desafio importante no país. Os relatos a seguir tem força para contribuir com as discussões que apontam possibilidades de levar a cabo experiências no ensino de física social e ambientalmente comprometidas.

## **A FUNÇÃO SOCIAL DO ENSINO DE FÍSICA E A VALORIZAÇÃO DOS SABERES PRÁTICOS**

Nesta seção descreve-se algumas ações desenvolvidas como uma atividade prática e extensionista com a intenção de que os alunos sejam mais ativos, estejam no centro do processo de ensino e aprendizagem e que experimentem com suas “próprias mãos”-‘mão na massa’. Um dos objetivos dessas ações desenvolvidas foi repensar o que fazer, para que, como e para quem, pois cada ação desenvolvida tem implicações diretas e indiretas na vida dos seres humanos. O ensino e aprendizagem das ciências pode contribuir para a compreensão de conhecimentos, procedimentos e valores que permitam aos alunos tomar decisões e perceber as aplicações que facilitem a vida do ser humano e também ter conhecimento das limitações e as consequências que podem ocorrer em cada ação realizada (CHASSOT, 2003)

As ações desenvolvidas pelos alunos e acompanhados(orientadas) pelo professor geralmente são uma demanda social, normalmente ligadas a sustentabilidade e tratam de pensar(projetos) e fazer(execuções) que melhoram a realidade da comunidade, constitui-se uma forma de incentivar a aprendizagem dos alunos dos semestres iniciais de um curso superior de engenharia em uma universidade pública.

As ações práticas podem ser consideradas uma metodologia de ensino e aprendizagem que pode facilitar a interação entre os alunos para buscarem criativamente, fundamentação teórica e científica inclusive com inovações capazes de apoiar a formação de futuros engenheiros com capacidade crítica, vocação inovadora e empreendedora, de acordo com as necessidades num contexto globalizado (METAUTE PANIAGUA, et al., 2018).

A ideia inicial do professor foi oferecer condições adequadas para incentivar os alunos matriculados nas disciplinas de Física do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Universitário Prof. Eugênio Carlos Stieler em Tangará da Serra a buscarem condições que facilitassem aprendizagem. As ações realizadas durante os semestres letivos foram orientadas e acompanhadas pelo professor da disciplina e outros professores pesquisadores. Também estiveram presentes pais de alunos com conhecimento práticos, pois o professor esteve atento aos conhecimentos e as lideranças iniciais dos alunos de cada grupo.

O olhar atento do professor instigou os alunos com questões iniciais que permearam discussões com os grupos de alunos: Como um engenheiro civil pode propiciar condições de vida mais adequadas para a comunidade? Para o professor a ideia era a realização de um trabalho prático(mão na massa), inovador, duradouro, útil e relacionados a projetos e execução utilizando os conhecimentos da Engenharia Civil.

Essas ações iniciaram em 2015 e cada ano, principalmente pelo aperfeiçoamento dos conhecimentos científico, pedagógicos, filosóficos e experiência do corpo docente foi se aprimorando tanto na forma de acompanhar e orientar as ações como para instigar os alunos a buscarem uma fundamentação teórica e científica a serem capazes de criar algo inovador, útil e duradouro envolvendo conhecimentos de Engenharia Civil e bem-estar social.

Algumas ações desenvolvidas (as atividades estão ordenadas para facilitar a compreensão) são:

Atividade A: O planejamento, maquete e construção de uma estufa agrícola para ser utilizada pelo curso de Agronomia no qual o Programa tem ações extensionista com produtores de hortifrutí. A principal discussão foi como construir uma estufa com custo otimizado para que pequenos produtores também possam se beneficiar desse tipo de construção.

Atividade B: Uma peneira elétrica, uma inovação que facilita o trabalho de peneiramento dos trabalhadores na construção civil.

Atividade C: Pisos drenante, uma calçada que favorece a drenagem da água em espaços com revestimento, portanto facilita o escoamento da água em região ou em locais de chuvas intensas como a região de Tangará da Serra que tem clima tropical com chuvas torrenciais no período das cheias (SANTOS, CARGNIN-STIELER, WEBER, 2019; SANTOS, ALVES, CARGNIN-STIELER, 2016; SANTOS, CARGNIN-STIELER e WEBER; 2019). A partir do primeiro trabalho realizado em 2015, foi dada continuidade e é possível



citar ações como o uso de melhorias das estruturas físicas da própria universidade e de outros espaços na cidade, tais como reduzir o alagamento próximos aos bebedouros.

Atividade D: Um grupo de alunos percebeu uma possibilidade de seguir orientações da literatura e buscar tinturas orgânicas para pintar paredes com materiais disponíveis na região (MIRANDA, 2006).

Atividade E: Os alunos perceberam a falta de um espaço ecológico no qual todos pudessem usufruir como área de lazer ou estudo por ser construída sob a sombra de uma árvore de pau brasil (BEZERRA, et al., 2018)

Atividade F: A construção de mesas e pavimentos ecológicos para o quiosque e minipraça na qual os alunos se valeram de conhecimentos e uso de materiais da região. Essas ações tiveram sucesso também pelo olhar atento do professor para os conhecimentos e habilidades de cada aluno. Em todo o processo construtivo foi planejado e executado valendo-se da problemática da sustentabilidade. Alguns dos materiais de construção utilizados, como tijolos de solo-cimento fabricados pelos próprios alunos em parceria com a empresa do ramo, madeiras de eucalipto de reflorestamento doado por empresário pai de aluno do grupo, pisos drenantes fabricados na universidade utilizando tecnologias próprias como a peneira elétrica. Esses projetos, a Universidade pode contribuir com recurso pois o planejamento das ações aconteceu com antecedência.

Atividade G: A praça precisava de algumas reformas para que pudesse ser reutilizada e desta forma algumas ações foram repensadas.

Atividade H: Os alunos pensando em sustentabilidade realizaram um ensaio produzindo tijolos ecológicos com resíduos de britagem e solo argiloso da região como uma atividade interdisciplinar com a proposta de explorar conhecimentos básicos a respeito da fabricação de tijolos ecológicos (SANTOS, CARGNIN-STIELER, DAMASCENO, 2019) e na sequência, parceria com a empresa, outro grupo de alunos conseguiu construir um quiosque que hoje é utilizado pela comunidade acadêmica. A construção desse quiosque como um espaço de lazer e ou estudo no qual os alunos desenvolveram algumas técnicas, além disso contaram com conhecimentos tradicionais de construtores da região

Atividade I: Uma mesa vibratória que tem como objetivo principal produzir produtos cimentícios, nesse caso a necessidade era de produzir pisos intertravados também chamados de bloquetes ou *pavers*, o curso não dispõe desse tipo de equipamento.

Optou-se por descrever essa ação com mais detalhes nesse capítulo. Os alunos descreveram que o objetivo da ação foi minimizar os problemas encontrados na produção de blocos de concretos e *pavers* quanto a dificuldade de adensamento no processo de



fabricação (Relatório A). Os blocos de concretos são construídos como uma forma de facilitar as construções e repensar os resíduos da construção civil.

A primeira ação para o grupo de alunos, o planejamento de como seria executado e para isso foi necessário pesquisar, ou seja, realizar um estudo teórico e contou com um projeto técnico para a execução da tarefa. Realizaram um croqui e um projeto computacional utilizando um software computacional apropriado (Figura 1).

O grupo de alunos ao construir a mesa vibratória utilizou materiais recicláveis e/ou reutilizáveis e justificam “visando a contribuição para a preservação ambiental, visto que a construção civil é um ramo que, mesmo sendo altamente dependente de insumos advindos da natureza, ainda conta com poucas iniciativas práticas para conservação da mesma” (Relatório A). Para construir a mesa vibratória o grupo de alunos contou com o apoio de conhecimentos e orientações de uma pessoa da família de um dos membros do grupo. Essa questão facilita a comunicação e interação com a comunidade externa e a valorização de conhecimentos tradicionais.

**Figura 1:** Croqui, projeto computacional e mesa vibratória.



**Fonte:** Relatório A, p. 6, 7 e 11.

O grupo de alunos conclui o relatório ressaltando que foi possível utilizar os conhecimentos teóricos e habilidades adquiridas ao longo do curso nas disciplinas de Física e de disciplinas das áreas específicas. Também relatam que “Além disso, o trabalho proporcionou aos acadêmicos a possibilidade do trabalho em equipe, exercício de liderança e resolução de problemas, bem como a busca de parcerias com pessoas da comunidade” (Relatório A, p.12).

Ainda relataram que o objetivo do trabalho foi atingido. “além da produção de um equipamento altamente necessário para o ramo da construção civil, foi propiciado aos acadêmicos contato direto com os desafios diários de profissionais que atuam na área” (Relatório A, p.12). Ainda descrevem que o equipamento atende as necessidades e que necessárias para a produção. Também foram capazes de elencar ações futuras e

sugestões de aperfeiçoamento para aumentar a capacidade produtiva e a necessidade de ampliação da estrutura.

Portanto foi possível perceber que os alunos envolvidos conseguiram realizar uma leitura crítica da realidade vivenciada, pois a ação partiu deles embora foram orientados e instigados pelo professor.

Esses trabalhos estão em consonância com as novas DCNs dos cursos de Engenharia, portanto agora estão respaldados nas DCNs e Projeto Pedagógico do curso denominadas aprendizagem ativas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde o ponto de vista das discussões sobre o NEED, a pesquisa e o trabalho têm apontado como uma reação às mudanças sociais, políticas, culturais e tecnológicas.

Os resultados descritos neste trabalho evidenciam que envolver os alunos ativamente em ações que fortaleçam o ensino e aprendizagem, notadamente ações que facilitem a vida do ser humano, contribuem também para um melhor rendimento acadêmico, influenciando diretamente nos índices de aprovações e permanência no Curso.

O estudo evidencia a importância de novas abordagens para o ensino e aprendizagem das ciências como forma de oportunizar maior protagonismo aos estudantes, bem como maior significado aos conteúdos, esforço esse que as Ciências tem construído paulatinamente.

## REFERÊNCIAS

BEZERRA, N.; JESUS, G. M.; FROIO, P. V.; SILVA, K. A. M. Relatório do projeto Mini Praça. In: XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, 2018, Salvador. **Anais do XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE**. Brasília: ABENGE, 2018.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei nº 4024, de 20 de dezembro de 1961**. Fixa diretrizes e bases da Educação Nacional.

Escola Estadual Indígena Jula Paré. **Projeto Sala de Educador INYÑZÓ**. Aldeia Umutina, 2013.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais**. Brasília: MEC/SEF, 1997.

\_\_\_\_\_. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996.** Estabelece diretrizes e bases da Educação Nacional. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 dez. 1996.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 5692, de 11 de agosto de 1971.** Fixa diretrizes e bases para o ensino de 1º e 2º graus, e dá outras providências

\_\_\_\_\_. **Decreto-Lei nº 4.244, de 09 de abril de 1942.** Lei Orgânica do Ensino Secundário.

CAMARGO, Celso Abreu. Ciências. In: PILETTI, Claudino (org.). **Didática Especial.** São Paulo: Editora Ática, 1998, p. 261-343.

CARGNIN-STIELER, Marinez. **Educação em engenharia: aspectos da formação pedagógica para o ensino em Engenharia Elétrica.** – Ilha Solteira: [s.n.], 2014. 155 f.: il. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/11449/110514>>. Acesso em: 09 de abr. 2021

CHASSOT, Attico. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Rev. Bras. Educ.**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 89-100, Apr. 2003. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-24782003000100009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782003000100009&lng=en&nrm=iso)>. Access on: 06 May 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-24782003000100009>.

DASSIE; Bruno Alves; ROCHA, José Lourenço da. O ensino de matemática no Brasil nas primeiras décadas do século XX. **Caderno Dá-Licença**, n. 4, ano 5, p. 65-73, dezembro de 2003

DELIZOICOV, Demétrio. **La Educación em Ciências y La Perspectiva de Paulo Freire.** In: Alexandria Revista de Educação em Ciências e Tecnologia, v. 1, n. 2, Florianópolis: 2008, p. 37-62.

HAMBURGER, Ernst Wolfgang. Projeto ABC na Educação Científica – Mão na Massa no Brasil. In: Resumo das Atividades Mão na Massa no Brasil. **3º Encontro Latino-Americano “La Main à La Pâte”.** São Paulo, 2004.

HERMES, Simoni Timm. **Metodologia do Ensino de Ciências Naturais**, Santa Maria/RS, UFSM, 2019.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-USP. Centro de Divulgação Científica e Cultural. **IX Mostra de Trabalhos “ABC na Educação Científica – Mão na Massa”.** São Carlos, SP, 2012. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/maomassa/mostras/2012/IXMostra-Anais.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.

KRASILCHIK, Myriam. Reformas e realidade: o caso do ensino de Ciências. In: **Revista São Paulo em Perspectiva**, nº 14, v. 01. São Paulo: Fundação SEADE, 2000, p. 85-93.

MIRANDA, Herminio C. **O pequeno laboratório de Deus**: G.W. Carver, o filho de escravo que se tornou um dos mais importantes cientistas do mundo (Negritude e genialidade). 2ª edição. 2006

METAUTE PANIAGUA, Piedad María et al. A revitalização das estratégias pedagógicas atuais: uma necessidade aplicável aos processos de ensino e aprendizagem de estudantes de engenharia no século XXI. **Rev. Lasallista Investig.**, Caldas, v. 15, n. 1 pág. 46-56, junho. 2018. Disponível em [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492018000100046&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492018000100046&lng=es&nrm=iso). acessado em 24 de abril. 2021. <https://doi.org/10.22507/rli.v15n1a4>

LORENZETTI, Leonir; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. In: **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, Vol. 03, N. 01, Jun. 2001, p. 01-17. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/epec/v3n1/1983-2117-epec-3-01-00045.pdf>. Acesso em: 21. Abr. 2021.

**Revista Nova Escola** (2009). Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/48/o-que-ensinar-em-ciencias>>. Acesso em; 01 maio 2021.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Alfabetização científica desde as primeiras séries do Ensino Fundamental – em busca de indicadores para a viabilidade da proposta. In: **Atas Eletrônicas do XVII SNEF**. Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Luiz, 2007, p.1-10. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0167-1.pdf>. Acesso em: 21. Abr. 2021.

SANTOS, E. A.; CARGNIN-STIELER, Marinez; WEBER, Guilherme Adriano Concreto permeável: uma investigação na formação de engenheiros. **Brazilian Journal of Development.**, v.5, p.19327 - 19341, 2019.

SANTOS, E. A.; CARGNIN-STIELER, Marinez; DAMASCENO, M. V. A. Engenharia civil pensando sustentabilidade: confecção de tijolos ecológicos com resíduos de britagem e solo argiloso. **Brazilian Applied Science Review.**, v.v.3, p.721 - 732, 2019.

SANTOS, E. A.; ALVES, K. S.; CARGNIN-STIELER, M. Desenvolvimento de piso permeável como estratégia de aprendizagem nos semestres iniciais de Engenharia Civil. In: **Anais do XLIV congresso brasileiro de educação em engenharia**, 2016, natal. COBENGE 2016 – XLIV Congresso brasileiro de educação em engenharia, 2016.

SANTOS, E.A; CARGNIN-STIELER, M.; WEBER, G. A. Concreto permeável: uma experiência inovadora na formação de engenheiros. In: XLVII Congresso brasileiro de educação em engenharia (COBENGE) e 2º Simpósio internacional de educação em engenharia da ABENGE 'Formação por competência na engenharia no contexto da globalização 4.0', 2019, Fortaleza. **Anais COBENGE 2019**. Brasília: ABENGE, 2019.

ZUIN, V. G.; FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. R. G.; PRUDENCIO, C. A. V. Análise da perspectiva ciência, tecnologia e sociedade em materiais didáticos. **Ciências & Cognição (UFRJ)**, v. 13, p. 56-64, 2008.

# Capítulo 03

## BIOMASSA E BIOREFINARIAS: CONCEITOS, INOCULUM E PROCESSO INDUSTRIAL

**CARLOS ANTÔNIO RUFINO JÚNIOR**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**MURILO MACHADO AMARAL**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**CAIO CÉSAR BRANCO NUNES**

Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Formiga

**MARIELLE JORDANE DA SILVA**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG)

**RICARDO CARRASCO CARPIO**

Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Arcos

**RESUMO:** A busca por energias renováveis e fontes de energia eco-friendly motivam o interesse na produção de combustíveis a partir de resíduos (e.g. biocombustíveis). Visando identificar as categorias de biocombustíveis, suas matérias-primas e o processo de produção nas biorefinarias, esse trabalho apresenta o cenário atual de produção de diferentes biocombustíveis, os quais são produzidos nas biorefinarias (que são usinas que possuem processos autossustentáveis), que recebem diferentes tipos de resíduos como matéria-prima (e.g. biomassa e recursos renováveis) para a fabricação dos biocombustíveis (e.g. etanol de primeira geração, etanol de segunda geração, biogás e biobutanol). Para a fabricação de etanol de primeira geração, são utilizados como matéria-prima açúcares e amido, o qual é encontrado em cereais (e.g. trigo, cevada, milho e batata) ou cana-de-açúcar. Já o etanol de segunda geração é produzido a partir de celulose e hemicelulose como fonte de açúcar, as quais podem ser encontradas em palha de trigo, palha de milho, madeira, resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos. Comparando as duas gerações de etanol, é notável que a principal vantagem da segunda geração é que a mesma pode produzir combustível a partir de resíduos urbanos que não possuem valor de mercado. Outro diferente tipo de biocombustível é o biogás, que é produzido através de resíduos vegetais e animais (e.g. esterco de animais e lodo de dejetos urbanos) disponíveis em ambientes com baixa concentração de oxigênio (e.g. aterros, instalações de tratamento de resíduos e laticínios). Por fim, o biobutanol pode ser utilizado na indústria de tintas, solventes e aditivos para combustíveis, e pode ser produzido a partir de resíduos agrícolas, biomassa de culturas, resíduos sólidos urbanos, dentre outros. Esse trabalho faz a descrição dos distintos processos de síntese nas biorefinarias, e também as vantagens e desvantagens do uso de misturas de culturas, apresentando esse conteúdo de forma clara.

**PALAVRA-CHAVE:** Biorefinaria; Biomassa; Biocombustível; Biogás.

**ABSTRACT:** The search for renewable energy and eco-friendly energy sources motivates interest in the production of fuels from waste (e.g. biofuels). Aiming to identify the categories of biofuels, their raw materials and the production process in biorefineries, this work presents

the current scenario of production of different biofuels, which are produced in biorefineries (which are plants that have self-sustainable processes), which receive different types of waste as raw material (e.g. biomass and renewable resources) for the manufacture of biofuels (e.g. first generation ethanol, second generation ethanol, biogas and biobutanol). For the manufacture of first generation ethanol, sugars and starch are used as raw materials, which are found in cereals (e.g. wheat, barley, corn and potatoes) or sugar cane. Second-generation ethanol, on the other hand, is produced from cellulose and hemicellulose as a source of sugar, which can be found in wheat straw, corn straw, wood, agricultural waste and solid urban waste. Comparing the two generations of ethanol, it is notable that the main advantage of the second generation is that it can produce fuel from urban waste that has no market value. Another different type of biofuel is biogas, which is produced using plant and animal waste (e.g. animal manure and sludge from urban waste) available in environments with low oxygen concentration (e.g. landfills, waste treatment facilities and dairy products). Finally, biobutanol can be used in the paint, solvent and fuel additives industry, and can be produced from agricultural waste, crop biomass, urban solid waste, among others. This work describes the different synthesis processes in biorefineries, as well as the advantages and disadvantages of using mixtures of cultures, presenting this content clearly.

**KEYWORDS:** Biorefinery; Biomass; Biofuel; Biogas.

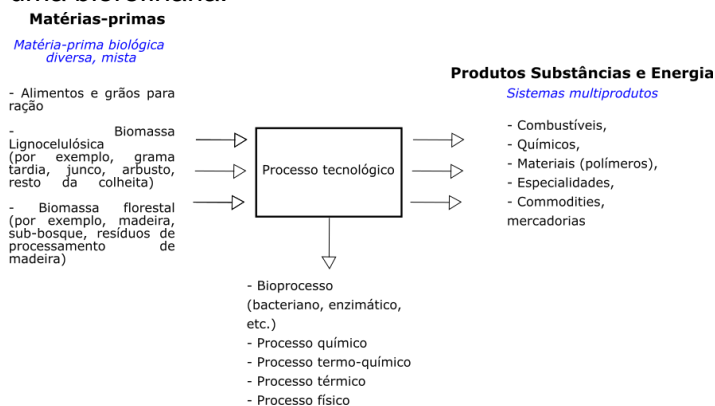
## INTRODUÇÃO

A busca por fontes renováveis de energia tem motivado a produção de biocombustíveis a partir de biomassa. Os biocombustíveis são fontes de energia limpa produzida a partir de biomassa e recursos renováveis, como plantas lignocelulósicas, amido ou usinas de açúcar, e a fração orgânica de resíduos municipais ou industriais. Os biocombustíveis são fontes de energia limpa produzida a partir de biomassa e recursos renováveis, como plantas lignocelulósicas, amido ou usinas de açúcar, e a fração orgânica de resíduos municipais ou industriais (YANG *et al.*, 2014).

A transformação da biomassa em partes menores para a produção de biocombustíveis ocorre em instalações industriais chamadas de biorefinarias. Biorefinarias são plantas industriais que convertem diversos tipos de resíduos, tais como: resíduos, resíduos florestais, resíduos industriais ou matérias-primas dedicadas, como cana-de-açúcar, em novos materiais de valor agregado, que podem ser bioprodutos de base tecnológica, bioenergia, bioquímicos, biopolímeros e rações para animais. Alguns exemplos de bioprodutos são: (i) bioetanol, (ii) biodiesel, (iii) biogás, (iv) biometanol, (v) éter etilbutílico à base de bioetanol, (vi) etil metóxi butil éter butil terciário, com base em biometanol, (vii) biocombustíveis sintéticos (UBANDO *et al.*, 2021). A Figura 01 apresenta um fluxograma mostrando que as biorefinarias transformam a biomassa em bioprodutos.



**Figura 1:** Fluxograma do processo de transformação da matéria-prima em biocombustíveis em uma biorefinaria.



**Fonte:** Adaptado de.

A produção do bioetanol a partir da fermentação de açúcares presentes no amido e na biomassa açucareira (por exemplo, cereais como milho ou trigo e cana ou beterraba). Este bioetanol pode ser aplicado em veículos especialmente adaptados ou misturado à gasolina, desde que atendidas as especificações do combustível. Conforme mencionado acima, o bioetanol em escala industrial é obtido a partir da fermentação de açúcares, de forma que a origem desses açúcares determina se é bioetanol de primeira ou segunda geração (PIACENTE; SILVA; BIAGGI, 2016; RABELO *et al.*, 2011).

Na produção de bioetanol de primeira geração (1G), a fonte desses açúcares é o amido. O amido é encontrado em matérias-primas como cereais (trigo, cevada, milho, batata, entre outros) e cana-de-açúcar. O inóculo utilizado na produção do etanol de primeira geração é *Saccharomyces Cerevisae* e o processo de produção ocorre em reatores nos quais ocorre a fermentação e o processo pode ser contínuo, alimentado em batelada, reciclado em batelada, contínuo ou extrativo (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012; MONCADA; TAMAYO; CARDONA, 2014).

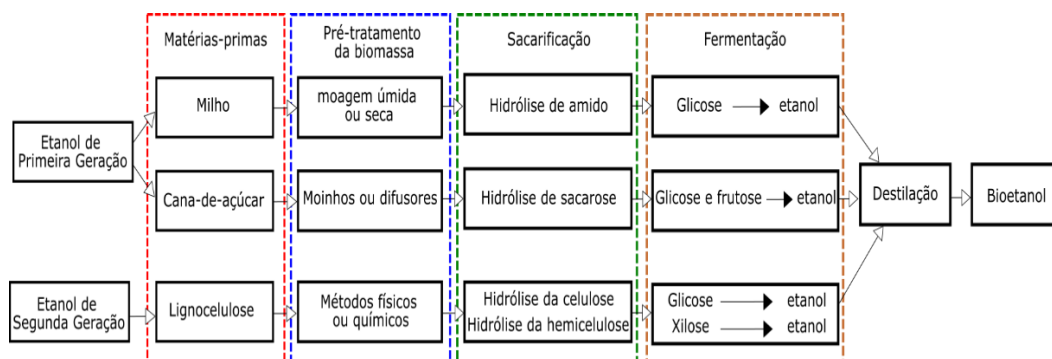
No bioetanol de segunda geração (2G), as fontes de açúcar são a celulose e as hemiceluloses. Eles são encontrados em matérias-primas como palha de trigo, palha de milho, madeira, resíduos agrícolas e resíduos sólidos urbanos. Comparados com os biocombustíveis de primeira geração, que utilizam grãos como matéria-prima, esses biocombustíveis de segunda geração utilizam resíduos vegetais, resíduos que, de outra forma, não teriam valor. O inóculo utilizado no processo são enzimas, *Zymomonas Mobilis* e bactérias termofílicas. O processo de produção do etanol 2G consiste nas etapas de pré-tratamento, hidrólise e co-fermentação (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012).

O processo de produção de primeira e segunda geração pode ser resumido conforme mostrado no fluxograma mostrado na Figura 2. O etanol produzido a partir do



milho, beterraba, trigo, mandioca e cana-de-açúcar é referido como bioetanol de “primeira geração” (1G). O etanol produzido por resíduos é denominado bioetanol de “segunda geração” (2G).

**Figura 2:** Fluxograma de produção de bioetanol.

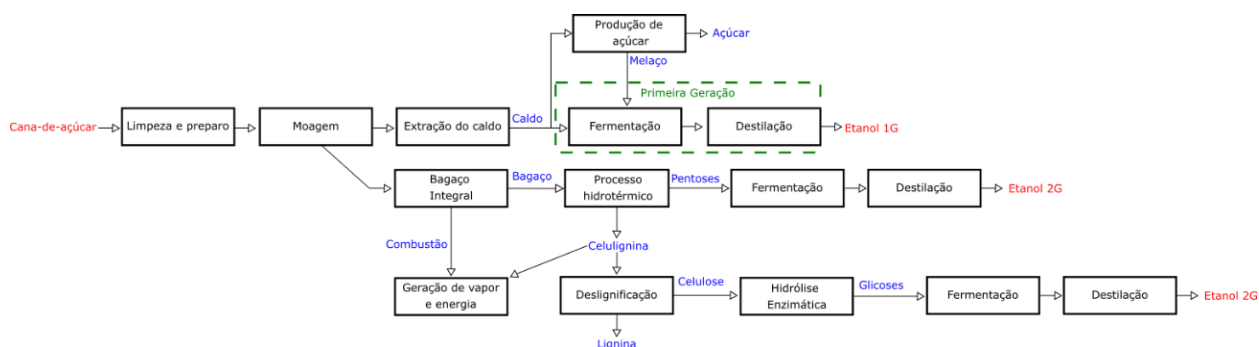


**Fonte:** Adaptado de (JULIANA QUEIROZ ALBARELLI, 2018).

No Brasil, o etanol de primeira geração é obtido principalmente por meio da fermentação do açúcar contido na cana-de-açúcar, enquanto nos Estados Unidos utiliza principalmente milho e na Europa é mais comum o uso de beterraba como fonte de açúcar. A diferença entre o processo de produção que utiliza milho e cana-de-açúcar como matéria-prima são as diferentes abordagens para a liberação de açúcares e a geração de diferentes coprodutos, sendo que em comum possuem operações de fermentação e recuperação de etanol semelhantes (PIACENTE; SILVA; BIAGGI, 2016).

Nas usinas convencionais do Brasil, a cana colhida no campo passa por uma etapa de limpeza que pode ser feita com água ou a seco. Depois disso, a cana-de-açúcar é moída em usinas e o caldo extraído é enviado para o processo de açúcar e etanol, enquanto o bagaço residual é usado em um sistema de cogeração como combustível de caldeira para fornecer grande parte da energia para as operações de extração, produção e processamento. A Figura 3 mostra o fluxograma do processo de produção de etanol 1G e 2G.

**Figura 3:** Fluxograma do processo de produção de etanol 1G e etanol 2G.



**Fonte:** Adaptado de (PEREIRA NOVO, 2016).

Conforme mostrado na Figura 3, o caldo extraído pode ser submetido a diferentes processos de tratamento para remover impurezas solúveis e insolúveis, dependendo se açúcar ou etanol será produzido. O xarope é obtido do caldo clarificado usando evaporadores de efeito múltiplo. Parte desse xarope é misturado ao caldo clarificado e ao melaço (mosto), que pode ser submetido novamente a um processo de fermentação para obtenção da concentração adequada. O vinho obtido pela fermentação é encaminhado para destilação para obtenção do etanol hidratado. Para a produção do etanol anidro, basta que o etanol hidratado passe por um processo de desidratação.

Os biocombustíveis de segunda geração são feitos de celulose, hemicelulose ou lignina. O etanol de segunda geração é produzido a partir de um pré-tratamento para quebrar as fibras do bagaço da cana-de-açúcar em lignina, hemicelulose e celulose. Posteriormente, a hidrólise enzimática é realizada para converter a celulose em açúcar solúvel. A fermentação é então realizada pela conversão do açúcar em etanol, que é purificado na destilação e destinado à comercialização (DIAS, M. *et al.*, 2011).

O pré-tratamento facilita a extração de açúcar da biomassa lignocelulósica (bagaço) e enzimas (proteínas) são utilizadas para facilitar a quebra e produzir glicose (açúcar). No processo de pré-tratamento do bagaço, uma parte sólida é composta por celulose e lignina e uma parte líquida composta por hemicelulose e lignina. O pré-tratamento pode ser físico por redução mecânica e microondas ou químico pelo uso de ácidos orgânicos, bases ou solventes (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012).

Após o pré-tratamento, ocorre a hidrólise enzimática, que visa converter a celulose em açúcares solúveis por meio da catálise. A hidrólise enzimática tem o nome de usar um coquetel de enzimas específicas para acelerar a reação do processo (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012).

Posteriormente, na etapa de fermentação ocorre a transformação dos açúcares em álcool etílico (etanol) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pela ação de um determinado grupo de organismos (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012).

Após o processo de fermentação é obtido um vinho fermentado que possui etanol em sua composição. Portanto, é necessário separar o álcool da mistura de vinho fermentado por destilação. Assim, o líquido é aquecido em colunas de destilação até evaporar. Este vapor é condensado e o etanol de segunda geração é obtido (DIAS, M. O. S. *et al.*, 2012).

O biogás é criado como um subproduto da decomposição de resíduos vegetais e animais em ambientes com baixo oxigênio: aterros, instalações de tratamento de resíduos e laticínios. O biogás é composto principalmente de metano e dióxido de carbono (gases de efeito estufa), então os incentivos naturais são fortes para evitar que o biogás entre na atmosfera. Como inóculo podem ser utilizados: esterco de porco, esterco de gado, lodo de tratamento de efluentes e esgoto doméstico, chorume de aterro, entre outros. Os inóculos devem ter características físico-químicas e nutrientes que auxiliem no processo de digestão, com alta Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), parâmetros que definem a biodegradabilidade de determinada matéria orgânica (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011).

O Biobutanol é um produto de quatro carbonos muito versátil com a fórmula molecular C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH e tem como principais aplicações na indústria de tintas, solventes e aditivos para combustíveis. As matérias-primas que geralmente são usadas para a produção de biobutanol são resíduos ou subprodutos agrícolas, biomassa de culturas, biomassa de culturas não comestíveis, subprodutos industriais de biomassa à base de madeira, resíduos sólidos urbanos ou biodegradáveis. As cepas de *clostridium* mais relatadas na literatura para a produção de biobutanol são: *acetobutulicum*, *saccharobutylicum*, *beijerinckii*, *butylicum*, *aurantibutyricum* e *tetanomorphum*. O processo de produção do biobutanol inclui o pré-tratamento da matéria-prima da biomassa, hidrólise e, em alguns casos, recomenda-se a desintoxicação dos inibidores formados durante o pré-tratamento. Posteriormente, a Acetona-Butanol-Etanol (ABE) é fermentada com base nos principais produtos. A fermentação anaeróbia possui duas etapas: acidogênica e solvogênica. Após a fermentação, os produtos finais são recuperados e purificados no processamento posterior (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011).

A Tabela 1 resume as principais matérias-primas utilizadas na produção dos biocombustíveis, bem como os principais microrganismos utilizados e o tipo de fermentação utilizada.

**Tabela 1:** Diferentes matérias-primas para a produção de etanol.

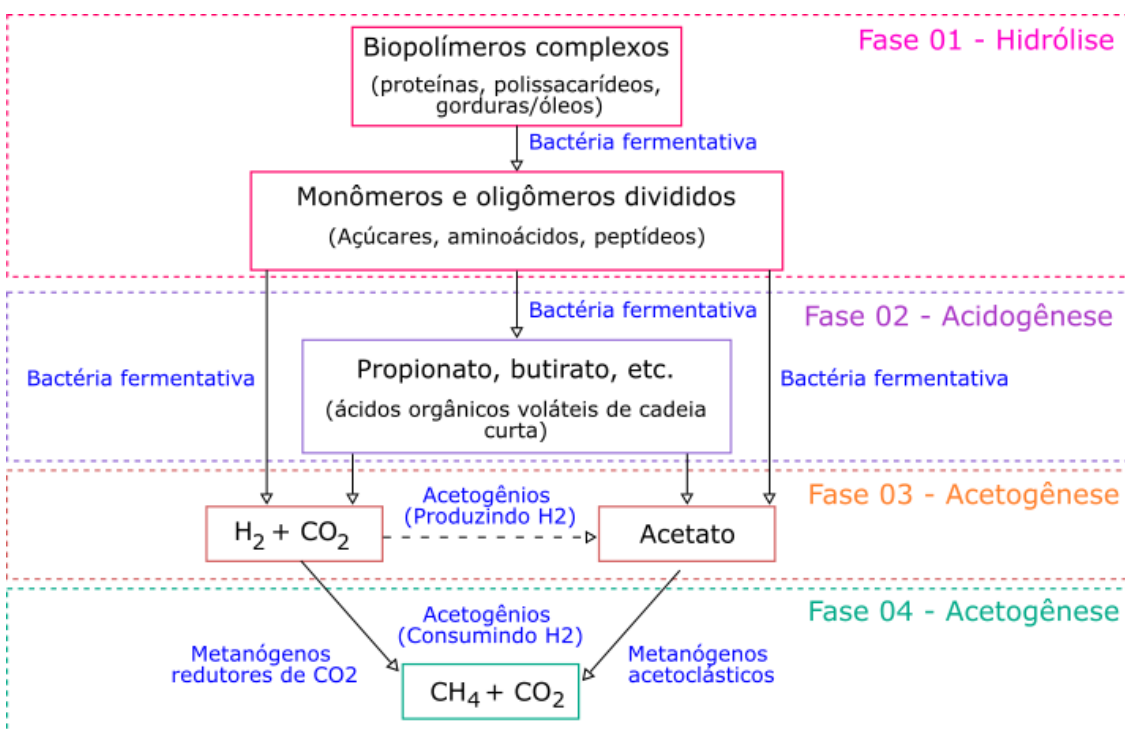
Biocombustível	Matéria-prima	Microrganismo	Tipo de Processo
Etanol de 1ª Geração	Matéria prima à base de sacarina ou à base de amido.	Saccharomyces cerevisae	Trituração e cozimento; Liquefação e hidrólise (amilases); Fermentação
Etanol de 2ª Geração	Palha, celulose, etanol celulósico, palha de milho, biomassa lignocelulósica, matérias-primas lignocelulósicas, lignocelulose (biomassa lignocelulósica)	Bactéria termofílica	Pré-tratamento (físico, químico ou biológico); Hidrólise (celulase e outras enzimas auxiliares); Fermentação
Biogás	Resíduos ou subprodutos agrícolas, biomassa de culturas, biomassa de culturas não comestíveis, subprodutos industriais de biomassa à base de madeira.	As cepas de clostridium mais relatadas na literatura para a produção de biobutanol são: acetobutylicum, saccharobutylicum, beijerinckii, butylicum, aurantibutyricum and tetanomorphum.	Pré-tratamento (físico, químico ou biológico) - para ruptura celular; Hidrólise (ácida, Enzimatic - $\alpha$ - amilases e / ou celulases - pectinases); Fermentação  Processo contínuo úmido e seco.
Biobutanol	Resíduos ou subprodutos agrícolas; Biomassa da cultura; Biomassa	<i>E. coli</i> ou outros microrganismos	Métodos de pré-tratamento, hidrólise,

	de cultura não comestível; Biomassa à base de madeira; Subprodutos industriais; Resíduos municipais sólidos ou biodegradáveis		desintoxicação e fermentação ABE
--	--	--	-------------------------------------

Fonte: Do autor.

O biogás é obtido pela digestão anaeróbia da matéria orgânica para obter uma mistura de gás metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Para que o biogás seja produzido, ele deve passar por quatro etapas que compõem a digestão anaeróbia, a saber: hidrólise, fermentação, oxidação anaeróbica e formação de metano (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011). Este processo de produção de biogás é apresentado na Figura 4 .

Figura 4: Etapas da produção do biogás.



Fonte: (PEIXOTO BASSO, 2018).

Na etapa de hidrólise, as moléculas de cadeia longa (matéria orgânica) se dividem em moléculas menores (monômeros) para que os microorganismos possam se alimentar

delas. São utilizadas bactérias especializadas que produzem enzimas específicas que catalisam a decomposição (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011).

No estágio de acidogênese, as substâncias de hidrólise são transformadas por bactérias acidogênicas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e álcoois, além de hidrogênio e dióxido de carbono. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, interfere negativamente na eficiência da acidogênese, que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Isso reduz o pH da mistura e o processo é afetado (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011).

Na etapa de acetogênese ocorre a transformação dos materiais resultantes da acidogênese em ácido etanóico, hidrogênio e dióxido de carbono por meio de bactérias acetogênicas. Nesta fase, é importante manter o equilíbrio da reação para que a quantidade de hidrogênio gerada seja consumida pela bactéria *Archeas* responsável pela metanogênese (FATIH DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2011).

Por fim, na etapa de metanogênese, ocorre a conversão de ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono em metano e dióxido de carbono pela ação de microrganismos metanogênicos classificados no domínio *Archeas*, conhecidos como distintos das bactérias devido às suas características genéticas (RESENDE, 2019).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A substituição dos combustíveis fósseis por outros tipos de combustível que são mais sustentáveis é de interesse global. Uma alternativa para substituir os combustíveis fósseis por combustíveis mais ecológicos é o uso de matérias-primas à base de amido que são chamados de combustíveis de primeira geração. Os combustíveis de primeira geração enfrentam oscilações de preço e o seu preço é dependente da safra, clima e compete com a demanda por alimentos.

Por isso, é crescente o interesse por processos industriais que produzem combustíveis a partir de bioresíduos que são restos de madeira, resíduos agrícolas, resíduos sólidos municipais, lodo, águas residuais e resíduos alimentares. Os combustíveis produzidos a partir dessas matérias-primas não competem com a demanda de alimentos e são chamados de combustíveis de segunda geração, como por exemplo, bioetanol, biodiesel, éter dimetílico e furano dimetílico.

Além de eliminar os resíduos, as indústrias buscam reduzir o custo de produção e elevar a sua receita. O uso desses resíduos para a produção de combustíveis pode



contribuir para isso, porque esses biocombustíveis quando produzidos em grande escala são baratos e abundantes no mercado.

Apesar disso, ainda existem desafios tecnológicos a serem superados. O principal desafio tecnológico é o processo industrial para a produção de combustíveis de segunda e terceira geração. Por isso, a sustentabilidade deve ser incentivada por meio de políticas públicas que busquem reduzir o uso de combustíveis fósseis, melhorar o processo tecnológico para produção de combustíveis mais eficientes e ecológicos, reduzir a poluição ambiental e a demanda de energia.

## REFERENCIAS

DIAS, Marina *et al.* Second generation ethanol in Brazil: Can it compete with electricity production? **Bioresource technology**, [s. l.], v. 102, p. 8964–8971, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.098>

DIAS, Marina O S *et al.* Integrated versus stand-alone second generation ethanol production from sugarcane bagasse and trash. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 103, n. 1, p. 152–161, 2012. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.120>

FATIH DEMIRBAS, M; BALAT, Mustafa; BALAT, Havva. Biowastes-to-biofuels. **Energy Conversion and Management**, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 1815–1828, 2011. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.041>

JULIANA QUEIROZ ALBARELLI. **Produção de açúcar e etanol de primeira e segunda geração: simulação, integração energética e análise econômica**. 216 f. 2018. - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), [s. l.], 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266572>

MONCADA, Jonathan; TAMAYO, Johnny A; CARDONA, Carlos A. Integrating first, second, and third generation biorefineries: Incorporating microalgae into the sugarcane biorefinery. **Chemical Engineering Science**, [s. l.], v. 118, p. 126–140, 2014. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ces.2014.07.035>

PEIXOTO BASSO, Thalita. **Temas de Agronegócio**. [S. l.: s. n.], 2018.

PEREIRA NOVO, Lísias. **Novas perspectivas para uma biorrefinaria de cana-de-açúcar no Brasil**. 2016. [s. l.], 2016.

PIACENTE, Fabrício José; SILVA, Vanessa de Cillos; BIAGGI, Dennys Eduardo. Produção de bioetanol a partir do milho: estudo de prospecção tecnológica a partir de bases de patentes. *In:* , 2016, São Paulo. **Blucher Engineering Proceedings**. São Paulo: Editora Blucher, 2016. p. 1211–1225. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/engpro-1enei-067>

RABELO, S C *et al.* Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 102, n. 17, p. 7887–7895, 2011. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.081>

RESENDE, Luana Pereira de Souza; Lígia Gomes Oliveira; Fabio de Melo. Produção de biogás a partir do aproveitamento do chorume e vinhaça. *In:* , 2019, Foz do Iguaçu. **2º Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**. Foz do Iguaçu: [s. n.], 2019.

UBANDO, Aristotle T *et al.* A state-of-the-art review of biowaste biorefinery. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 269, p. 116149, 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116149>

YANG, Xiaoguang *et al.* Biorefinery of instant noodle waste to biofuels. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 159, p. 17–23, 2014. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.068>

# Capítulo 04

## PREVISÃO DA DEMANDA DE POTÊNCIA RESIDENCIAL UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS

**CARLOS ANTÔNIO RUFINO JÚNIOR**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

**MARIELLE JORDANE DA SILVA**

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG)

**RICARDO CARRASCO CARPIO**

Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Arcos

**RESUMO:** A energia elétrica possui grande impacto no cenário atual, uma vez que o aumento do consumo de energia está associado ao progresso tecnológico. Devido ao crescimento da demanda de energia elétrica, as operações dos sistemas elétricos de potência tornaram-se cada vez mais complexas. Sendo assim, houve a necessidade de uma reestruturação no sistema elétrico de potência, uma vez que houve a inserção de novas formas de energia, principalmente, as energias renováveis. A crescente utilização de fontes de energias renováveis está associada à necessidade de reduzir os impactos ambientais causados pelas fontes não-renováveis de energia. Dessa forma, devido a esta reestruturação no sistema elétrico de potência, faz-se necessário a realização da previsão da demanda de energia elétrica, a fim de que as concessionárias realizem um melhor planejamento da geração de energia. Essa previsão é de suma importância, uma vez que por meio dela é possível evitar possíveis interrupções no fornecimento de energia. Além disso, por meio dessa previsão é possível que as concessionárias identifiquem possíveis fraudes. Considerando estes fatores, este trabalho apresenta o desenvolvimento de métodos de previsão da demanda de potência residencial utilizando redes neurais e *neuro-fuzzy*, a fim de realizar uma comparação entre estes dois tipos de inteligência computacional. Os dados utilizados foram retirados do banco de dados “*Individual household electric power consumption*”, o qual pertence ao repositório da UC Irvine Machine. O software *Matlab* foi utilizado para o desenvolvimento e simulação do programa. Para verificar a acurácia dos modelos foram utilizados a raiz quadrada do erro médio quadrático e o coeficiente de correlação. Os testes demonstraram uma estimativa satisfatória do consumo de potência ativa, em ambos os métodos, no entanto, os sistemas *neuro-fuzzy* apresentaram melhores resultados.

**PALAVRA-CHAVE:** Demanda de Potência. Previsão. RNA.

**ABSTRACT:** Electric energy has a great impact on the current scenario, since the increase in energy consumption is associated with technological progress. Due to the growing demand for electricity, the operations of electrical power systems have become increasingly complex. Therefore, there was a need for a restructuring of the electric power system, since there was the insertion of new forms of energy, mainly renewable energies. The growing use of renewable energy sources is associated with the need to reduce the environmental impacts caused by non-renewable energy sources. Thus, due to this restructuring in the electric power system, it is necessary to forecast electricity demand, so that the concessionaires can better plan the generation of energy. This forecast is of paramount importance, since it is possible to avoid possible interruptions in the energy supply. In

addition, through this forecast, it is possible for concessionaires to identify possible fraud. Considering these factors, this work presents the development of methods of forecasting the demand for residential power using neural and neuro-fuzzy networks, in order to carry out a comparison between these two types of computational intelligence. The data used were taken from the “Individual household electric power consumption” database, which belongs to the UC Irvine Machine repository. The Matlab software was used for the development and simulation of the program. To check the accuracy of the models, the square root of the mean square error and the correlation coefficient were used. The tests showed a satisfactory estimate of the consumption of active power, in both methods, however, the neuro-fuzzy systems showed better results.

**KEYWORDS:** Power Demand. Prediction. RNA.

## INTRODUÇÃO

A energia elétrica possui grande impacto no cenário atual, uma vez que o aumento do consumo de energia está associado ao progresso tecnológico. Assim, devido ao crescimento da demanda de energia elétrica, as operações dos sistemas elétricos de potência tornaram-se cada vez mais complexas. Sendo assim, foram necessárias reestruturações no sistema, a fim de que se tenha fornecimento de energia com qualidade e segurança para o consumidor.

A crescente utilização de fontes de energias renováveis está associada à necessidade de reduzir os impactos ambientais causados pelas fontes não-renováveis de energia, como por exemplo a nuclear. Dessa forma, surgiu a necessidade de substituir os combustíveis fósseis por combustíveis de geração de energia limpa.

Assim, devido ao surgimento de novas formas de geração, bem como a crescente demanda de energia elétrica, propiciaram a geração de energia elétrica em pequenos locais, a fim de contribuir para a redução dos custos relacionados ao transporte de energia. Isso porque os centros de produção são localizados distantes dos centros de consumo.

Dessa forma, surgiu o conceito de microrredes, as quais são caracterizadas como um grupo de cargas interligadas alimentadas por uma ou mais fonte de energia distribuída (Lasseter, 2001; Solanki et al, 2017; Olivares et al. 2014; Behnke, Reyes and Estévez, 2014).

Além de operar isolada do sistema elétrico de potência, as microrredes podem operar conectada a este sistema. Sendo assim, nesse caso, as microrredes tem como objetivo integrar altos níveis de recursos energéticos distribuídos, garantindo assim, um melhor gerenciamento do sistema de distribuição. Em ambas condições, isolada ou conectada à

rede, deseja-se o mínimo de interrupções no fornecimento de energia às cargas locais (Lasseter, 2001; Solanki et al, 2017; Olivares et al. 2014; Lasseter, 2011).

Dessa forma, devido a esta reestruturação no sistema elétrico de potência, faz-se necessário a realização da previsão da demanda de energia elétrica, a fim de que as concessionárias realizem um melhor planejamento da geração de energia, a fim de evitar possíveis interrupções em seu fornecimento. Além disso, por meio dessa previsão é possível que as concessionárias identifiquem possíveis fraudes (Solanki et al, 2017).

Além dos benefícios relacionados à concessionária, o cliente, por meio dessa previsão, poderá controlar gastos a fim de reduzir no consumo e, conseqüentemente, diminuir o preço da conta de energia elétrica.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo estimar a demanda de potência residencial, utilizando dois métodos de inteligência computacional, sendo redes neurais e sistemas Fuzzy. Este procedimento foi realizado a fim de realizar a comparação entre esses dois métodos.

Na literatura, há vários trabalhos relacionados com a previsão de demanda, não somente do setor elétrico, como em Villacorta e Lima, (2016) Santos, Soares e Russi (2016) e Pinto et al. (2016). Em Pinto et al. (2016) é realizado a previsão da demanda diária de pedidos em um Centro de Tratamento de Pedidos utilizando Rede Neural Artificial (ANN). A rede desenvolvida pelos autores foi implementada utilizando Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), sendo esta treinada por algoritmo de retro-propagação do erro.

No entanto, assim como no trabalho proposto neste artigo, há trabalhos que abordam a previsão da demanda no setor elétrico, como em Behnke, Reyes e Estévez (2012) e em Pinto et al. (2016).

## REFERENCIAL TEÓRICO

### ***Perceptron Multicamadas (MLP)***

O *perceptron* multicamadas consiste em uma rede com uma ou mais camadas intermediárias. Cada camada possui uma quantidade de neurônios pré-determinada, sendo que cada neurônio implementa um *perceptron*. A primeira camada tem conexão com a entrada da rede. Cada camada subsequente tem conexão com a camada anterior. A camada final produz a saída da rede (Pinto et al., 2016).

Redes MLP podem ser usadas para qualquer tipo de mapeamento entrada/saída. Uma rede com uma camada escondida e um número suficiente de neurônios pode resolver qualquer problema de mapeamento entrada/saída finito. Uma estrutura MLP geral é representada na Fig. 1.

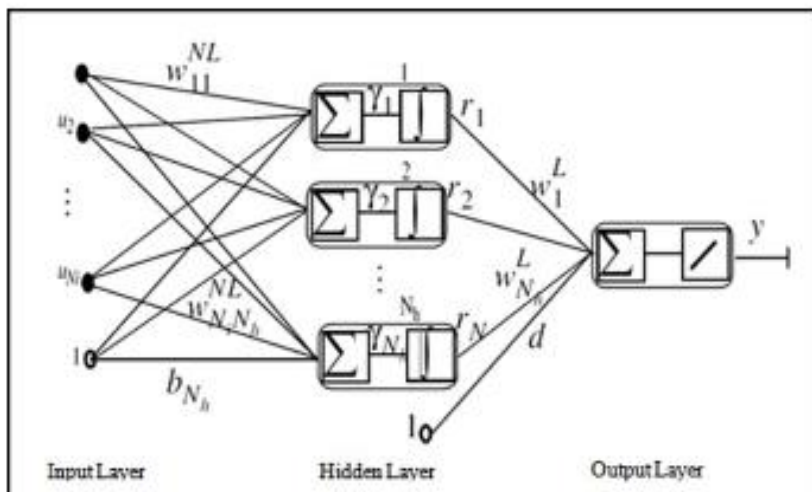


Fig. 1. Exemplo de estrutura MLP.

### Algoritmos de treinamento

Os algoritmos de treinamento consistem em um conjunto de procedimentos, os quais são responsáveis por adaptar os pesos de uma RNA a fim de que ela possa aprender determinada função. Há vários algoritmos de treinamento, tais como: *Levenberg-Marquardt*, *Backpropagation*, gradiente conjugado em escala, gradiente decrescente com atualização Polak-Ribière, entre outros (Gu, Emberg, Styvakakis, 2004).

### Levenberg-Marquart

Esse algoritmo é considerado o método mais rápido para treinamento de redes *feedforward backpropagation*. Para a aceleração do treinamento, este algoritmo baseia-se na determinação das derivadas de segunda ordem do erro quadrático em relação aos pesos (Gu, Emberg, Styvakakis, 2004).

O algoritmo de *Levenberg-Marquardt* se baseia no método de otimização de Newton, que faz uso da matriz Hessiana (Gu, Emberg, Styvakakis, 2004).

### Backpropagation



O algoritmo *backpropagation* baseia-se no método do gradiente descendente, o qual modifica o conjunto de pesos da rede a fim de reduzir o erro na direção mais íngreme da superfície definida no espaço (Pinto et al., 2016).

Assim, no algoritmo *backpropagation* um padrão é apresentado à camada de entrada da rede, esse padrão é processado camada por camada até que a camada de saída forneça a resposta (Pinto et al., 2016).

Nesse algoritmo, o cálculo do erro é realizado por retroalimentação. Dessa forma, o ajuste dos pesos é realizado proporcionalmente aos valores das conexões entre camadas (Pinto et al., 2016).

### **Gradiente conjugado em escala**

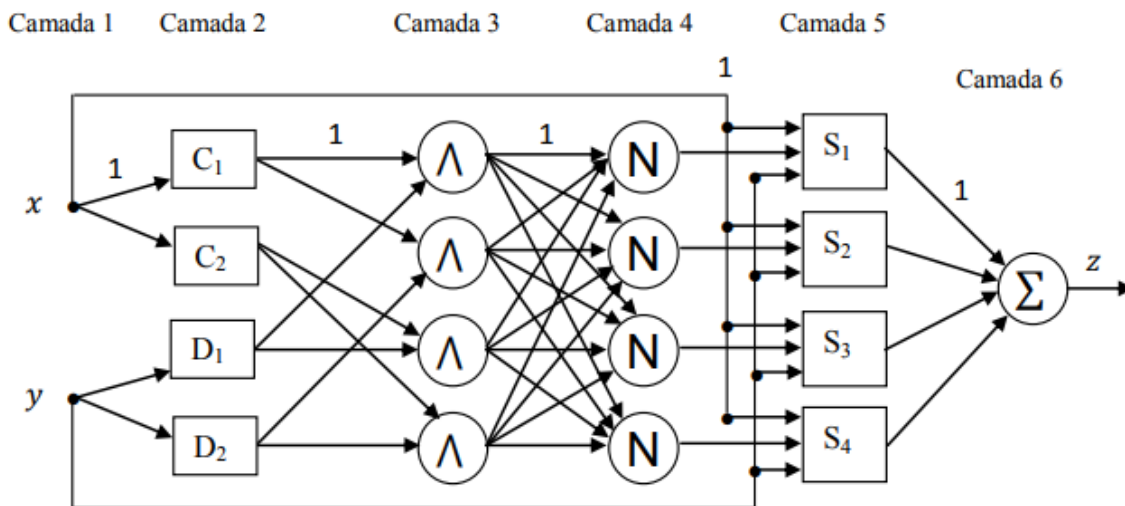
Este algoritmo pertence à classe de algoritmos de segunda ordem, sendo adequados para problemas em larga escala. São superiores aos métodos de primeira ordem, no entanto, apresenta desvantagens devido ao alto custo computacional associado ao cálculo da matriz Hessiana.

### **Adaptative Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS)**

O modelo *Adaptative Network Based Fuzzy Inference System* (ANFIS) é uma técnica simples de aprendizado a partir de um conjunto de dados. Para realizar essa tarefa de aprendizagem, o sistema ANFIS utiliza técnicas híbridas do algoritmo *backpropagation* e *mínimos quadrados* para otimizar os parâmetros das funções de pertinência e do consequente.

As redes neurais estruturam uma lógica de aprendizado baseada no cálculo de pesos. Por outro lado, o modelo ANFIS constrói uma estrutura parecida com a lógica utilizada pelos humanos.

O sistema ANFIS pode ser descrito como uma rede neural de seis camadas, conforme mostrado na Fig. 2. Os dados de entrada são apresentados na Camada 1 do sistema ANFIS.



**Fig. 2.** Exemplo de estrutura ANFIS multimodelos para controle.

A Camada 2 é responsável por atribuir uma função de pertinência a cada neurônio desta camada.

Após isto, na terceira camada ocorre a operação de interseção entre as funções de pertinência. A quarta camada é responsável por normalizar os dados de saída da camada 3.

A camada 5 calcula os consequentes da regra fuzzy. Nesta camada os neurônios têm função de ativação do tipo *Sugeno*.

Na última camada, ocorre o somatório das saídas da camada anterior e apresentação do resultado.

## METODOLOGIA

### Banco de dados

Neste trabalho foi utilizado um conjunto de dados intitulado *Individual household electric power consumption*, o qual está presente online no repositório da UC Irvine Machine. Neste conjunto de dados têm-se os dados de potência ativa (W), potência reativa (VAR), tensão (V) e corrente (A) de uma residência, medidos de minuto a minuto durante um ano, do período de 17/12/2006 a 17/12/2007. No entanto, para a realização deste trabalho foi considerado apenas a potência ativa, visto que a tensão e a corrente são diretamente proporcionais a esta variável. Além disso, em uma residência o valor da potência reativa é insignificante.

Afim de realizar a previsão de um passo à frente, ou seja, do dia seguinte, foi definida uma janela de espaço, a qual é composta por sete dias, sendo adquirida a previsão do

oitavo dia. Esta janela de tempo foi escolhida pelo fato de que o trabalho consiste em uma previsão diária, assim, apresentar os dias em uma janela semanal consiste em uma boa representação (Gu, Emberg, e Styvakakis, 2004).

Além disso, para se alcançar um rápido processamento, além do uso de técnicas que demandam menor complexidade computacional, é necessário o uso de técnicas que alcancem alto desempenho. Dessa forma, o tamanho das janelas dos dados são características relevantes em um processamento (Gu, Emberg, e Styvakakis, 2004).

Conforme citado anteriormente, como os dados foram medidos de minuto a minuto foi necessário a realização de um pré-processamento. Dessa forma, os dados de um dia foram somados a fim de se obter seu valor diário.

### **Pré-Processamento**

Nessa etapa, foi realizado a normalização dos dados de entrada e de saída. Os dados de entrada consistem na potência ativa dos setes dias anteriores ao dia previsto, enquanto que os dados de saída consistem na potência ativa do dia previsto. A normalização foi realizada pelo valor máximo.

Após a definição das variáveis de entrada e saída foi realizada a separação dos dados em treinamento e teste. Sendo assim, foi definido 70% para os dados de treinamento e 30% para os dados de teste. Além disso, a fim de que o processamento fosse otimizado, foi utilizado a randomização dos dados. Dessa forma, os dados, tanto de entrada quanto de saída, foram permutados de forma aleatória. Este procedimento foi realizado visto que consiste em uma técnica para melhorar o aprendizado da rede.

### **Configuração e teste da rede neural**

A rede MLP implementada nesse trabalho possui uma camada intermediária e um neurônio de saída. O número de neurônios presentes na camada intermediária foi equivalente a 10.

Utilizou-se três tipos de algoritmos de treinamento, sendo estes: Levenberg-Marquardt, gradiente conjugado em escala, gradiente decrescente com atualização Polak-Ribière.

O número máximo de épocas foi alterado de forma a se obter uma melhor estimação. O erro máximo tolerável foi definido como 0 em todos os testes.

Após isso, foi realizado o treinamento da rede neural. Em seguida, a rede foi validada, sendo o seu desempenho analisado.

## Sistemas Fuzzy

Além disso, neste trabalho foi avaliado os resultados obtidos pelo neuro-fuzzy, a fim de realizar uma comparação com os resultados obtidos utilizando redes neurais.

Sendo assim, foi realizado a geração do FIS utilizando o *Fuzzy C-Means*. Os valores dos parâmetros foram definidos como *default*.

Assim, o número máximo de épocas, o erro, o tamanho da etapa inicial, a taxa de redução e a taxa de aumento foram definidas como 1000, 0, 0,01, 0,9, 1,1, respectivamente. O número de clusters foi definido como 5. Foi avaliado o método de otimização híbrido.

## Métodos de avaliação da acurácia dos modelos

Existem várias técnicas para avaliar a eficácia dos métodos e selecionar a arquitetura mais apropriada para cada tipo de abordagem. Estes métodos podem ser: a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE), o erro médio absoluto (MAE), o erro médio de porcentagem (MPE), o erro de porcentagem absoluta média (MAPE), coeficiente de correlação (R2), entre outros. Neste trabalho foram utilizados o RMSE e o R2.

## RESULTADOS

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os valores da raiz quadrada do erro médio quadrático e do coeficiente de correlação da rede para diferentes algoritmos de treinamento, para número de épocas iguais a 50, 100, 200, 500 e 1000.

**Tabela 1.** Raiz do erro médio quadrático da rede *feedforward* para diferentes tipos de algoritmos de treinamento.

Algoritmo de treinamento da feedforward				
Nº de épocas	RMSE			
	Levenberg-Marquardt	Gradiente conjugado em escala	Gradiente Decrescente com atualização Polak-Ribière	Gradiente Decrescente com taxa adaptativa e momento
50	0.5335	0.5597	0.5695	1.017
100	0.5146	0.5578	0.5640	0.90691

200	0.5039	0.5485	0.5578	0.8932
500	0.5024	0.5431	0.5507	0.8745
1000	0.4965	0.5397	0.5438	0.8613

**Tabela 2.** Índice R-Square da rede *feedforward* para diferentes tipos de algoritmos de treinamento.

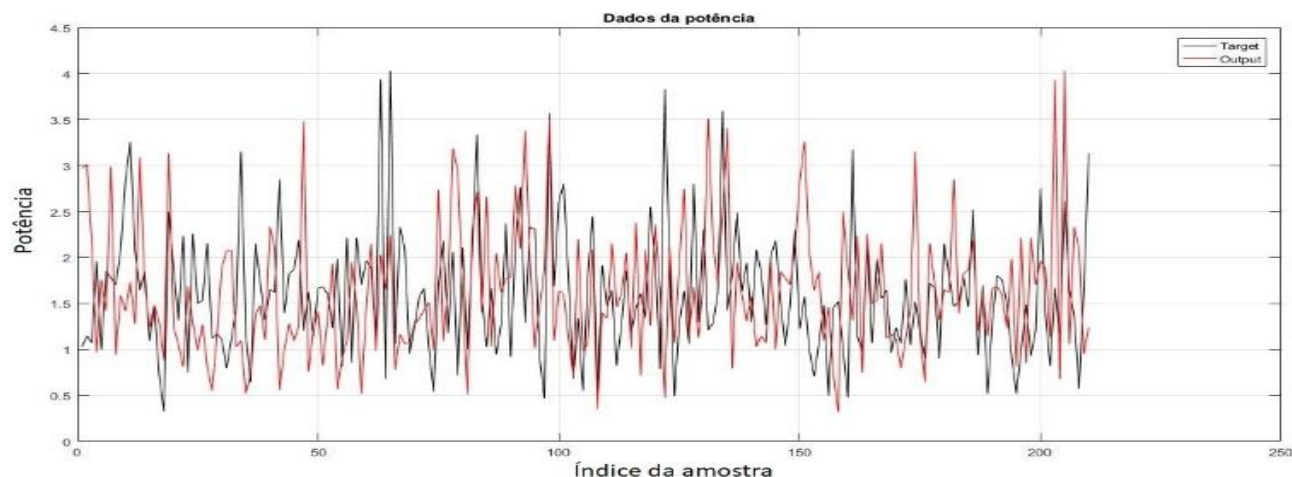
Algoritmo de treinamento da <i>feedforward</i>				
R <sup>2</sup>				
Nº de épocas	Levenberg-Marquardt	Gradiente conjugado em escala	Gradiente Decrescente com atualização Polak-Ribière	Gradiente Decrescente com taxa adaptativa e momento
50	0.7884	0.7545	0.7532	0.6545
100	0.7943	0.7578	0.7587	0.7234
200	0.7987	0.7643	0.7595	0.7256
500	0.7995	0.7657	0.7612	0.7285
1000	0.8032	0.7704	0.7643	0.7316

Por meio da Tabela 1 pode-se perceber que o aumento no número de épocas proporciona uma melhora no desempenho de todos os algoritmos utilizados.

Além disso, percebe-se que o algoritmo *Levenberg-Marquardt* apresentou os melhores resultados se comparados aos outros algoritmos analisados. Sendo assim, este algoritmo foi utilizado para comparação com o método *Fuzzy C-Means*.

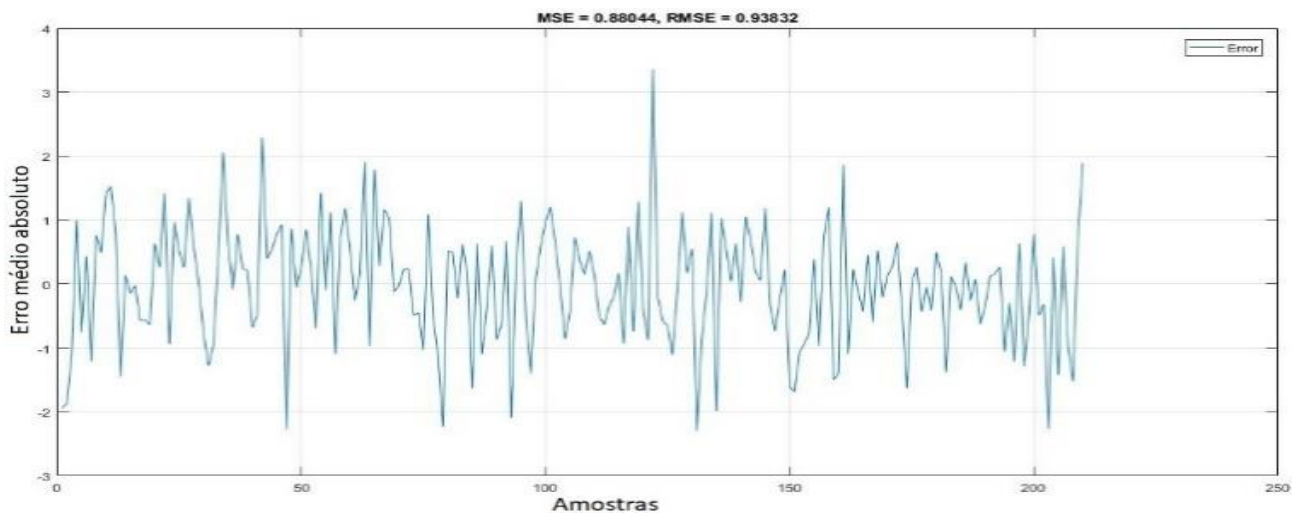
As figuras a seguir apresentam os resultados para o algoritmo *Levenberg-Marquardt* utilizando 1000 épocas, visto que esta foi a melhor configuração dentre as analisadas.

A Fig. 3 apresenta os resultados obtidos a partir do conjunto de dados de treinamento. O eixo horizontal do gráfico corresponde ao número de amostras, enquanto que o eixo vertical corresponde a potência ativa do oitavo dia.



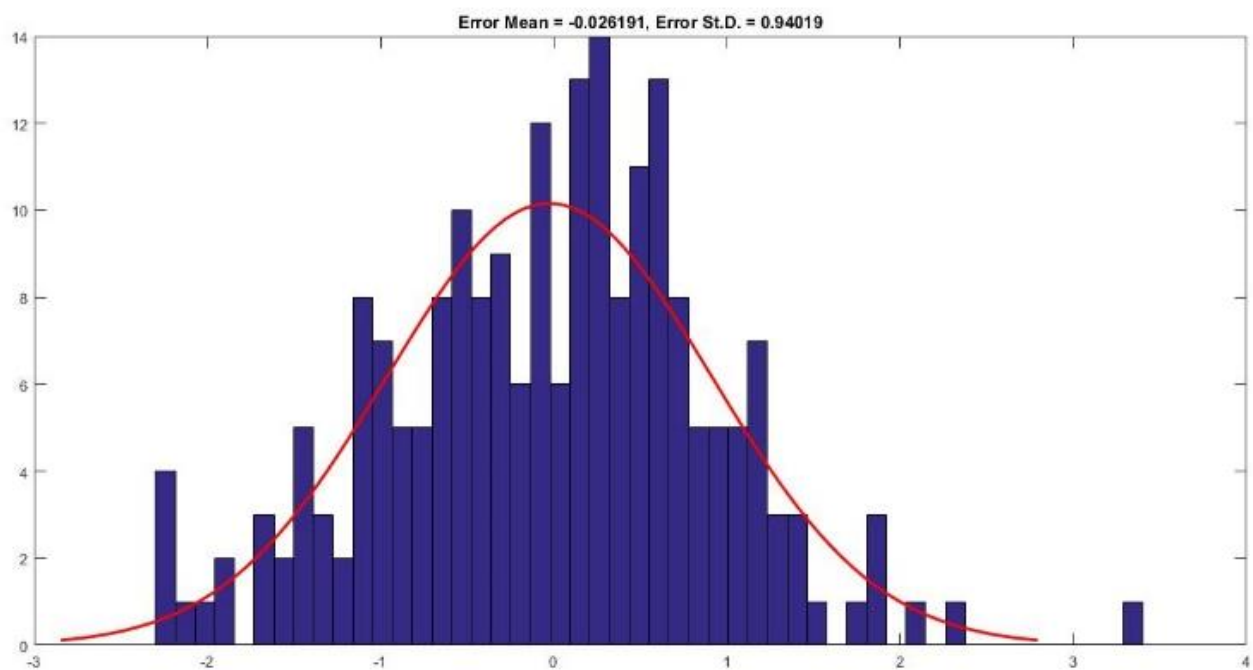
**Fig. 3.** Valores da potência original e estimada para dados de treinamento.

A Fig. 4 apresenta o gráfico do erro, para dados de treinamento, o qual é obtido pela diferença entre o valor desejado e o valor estimado pela rede neural.



**Fig. 4.** Valores dos erros para os dados de treinamento.

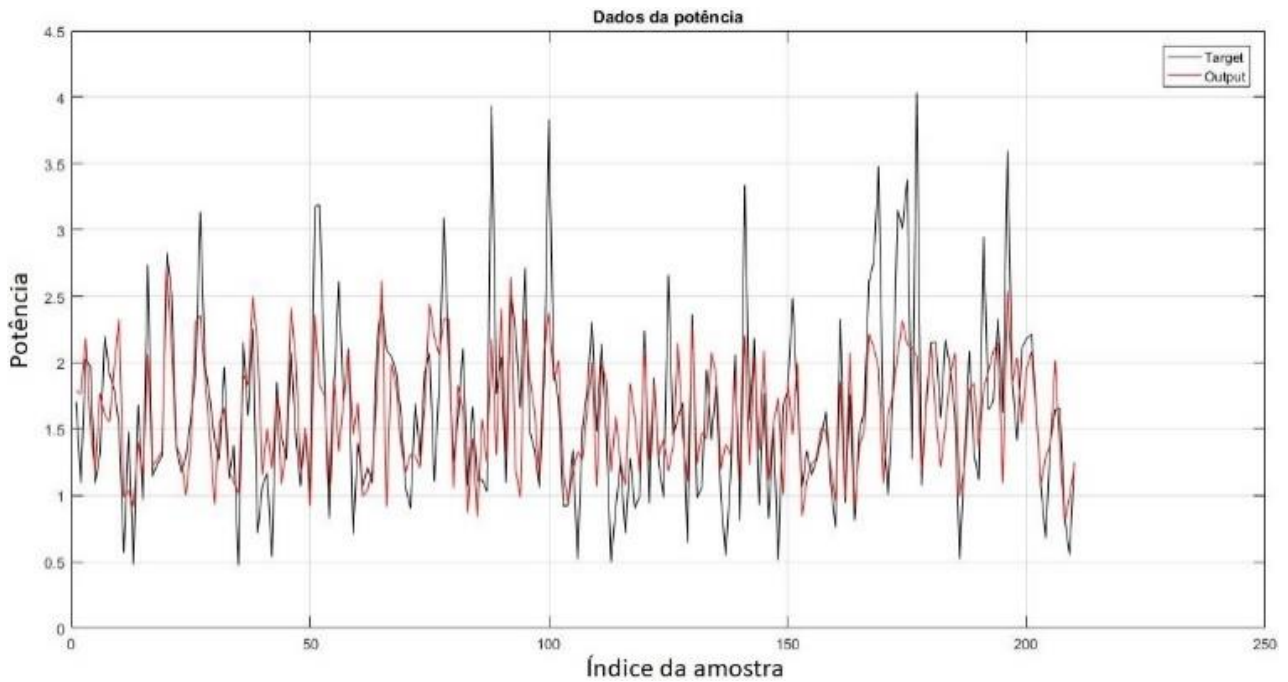
A Fig. 5 apresenta o histograma do erro obtido em relação aos dados reais e estimados para dados de treinamento.



**Fig. 5.** Distribuição do erro para dados de treinamento.

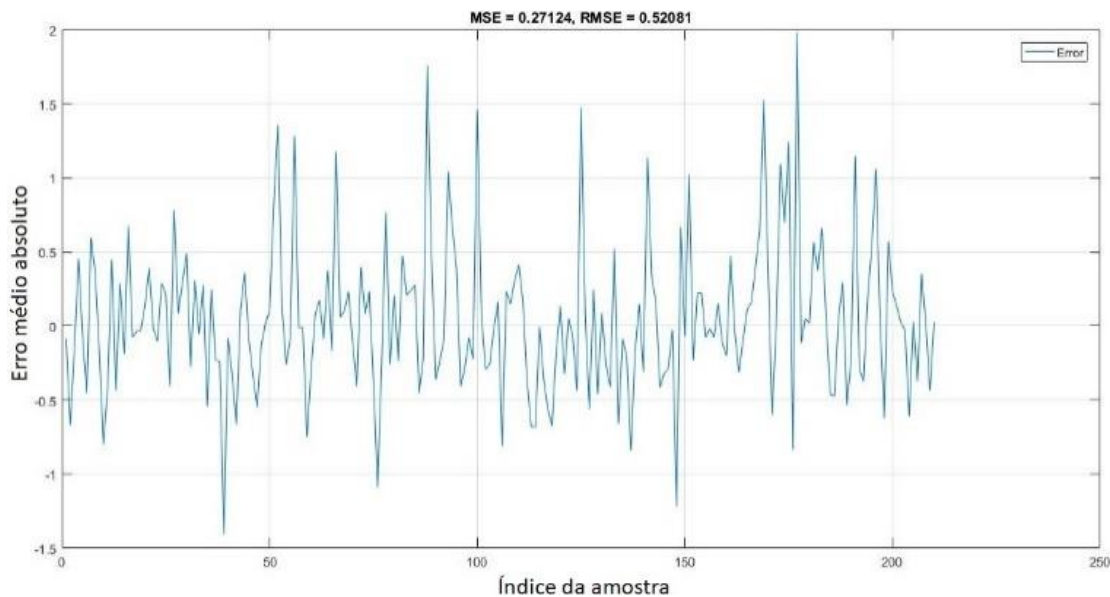
A Fig. 6 apresenta os resultados obtidos a partir do conjunto dos dados de teste. O eixo horizontal do gráfico corresponde ao número de amostras, enquanto que o eixo vertical corresponde a potência ativa do oitavo dia.





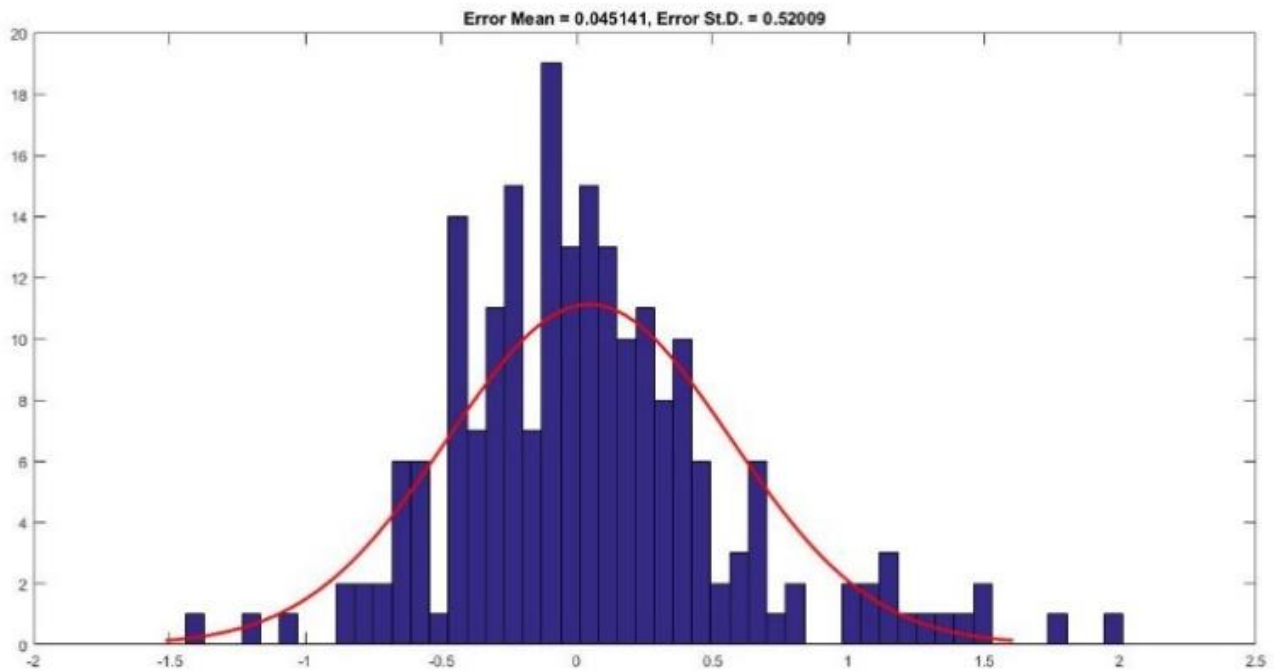
**Fig. 6.** Valores da potência original e estimada para dados de teste.

A Fig. 7 apresenta o gráfico do erro, para dados de teste, o qual é obtido pela diferença entre o valor desejado e o valor estimado.



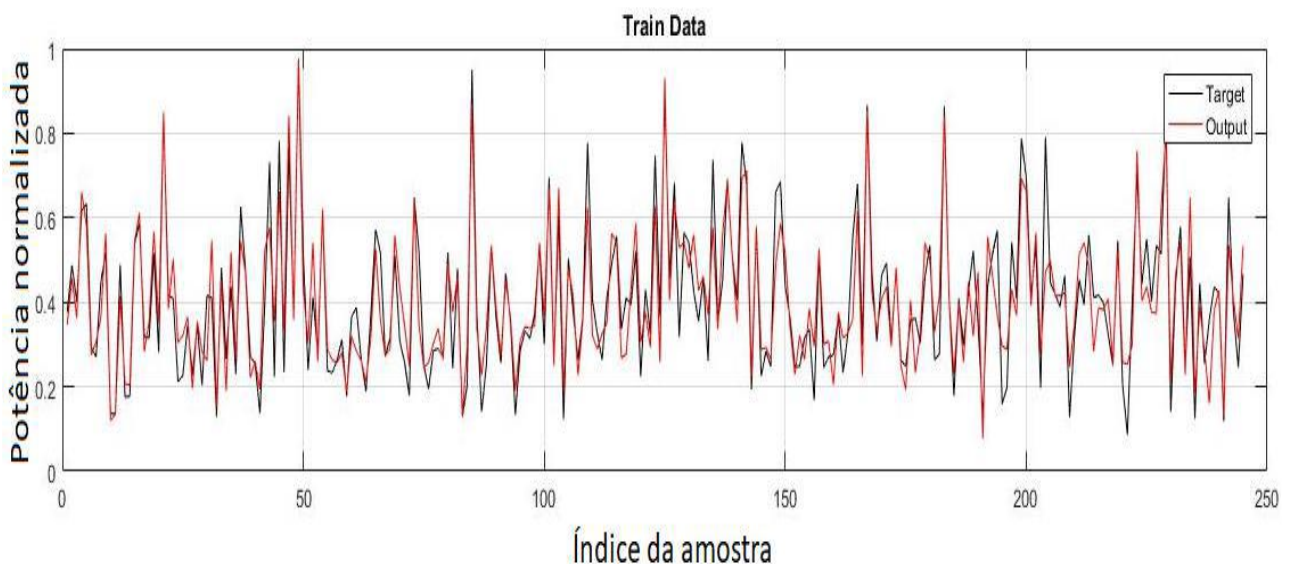
**Fig. 7.** Valores dos erros para os dados de teste.

A Fig. 8 apresenta o histograma do erro obtido em relação aos dados reais e estimados para dados de teste.



**Fig. 9.** Distribuição do erro para dados de teste.

Nos testes do algoritmo Fuzzy C-Means utilizando 5 *clusters*, observou um RMSE equivalente a 0.1537 e o valor do coeficiente de correlação foi equivalente a 0.9235. A Fig. 10 apresenta os resultados obtidos a partir do conjunto de dados de teste. O eixo horizontal do gráfico corresponde ao número de amostras, enquanto que o eixo vertical corresponde a potência ativa do oitavo dia.



**Fig. 10.** Valores da potência original e estimada para dados de teste.

## CONCLUSÃO

O trabalho apresentou um método de previsão da demanda de energia residencial, utilizando diferentes configurações de redes neurais.

O método proposto apresentou resultados satisfatórios, visto que a raiz quadrada do erro médio quadrático foi de 0.4965 e o valor da correlação foi equivalente a 80,32%, para o algoritmo de treinamento *Levenberg-Marquart*.

Para este conjunto de dados, o método *Fuzzy C-Means* apresentou melhor desempenho se comparado a rede neural, visto que a raiz do erro médio quadrático e o coeficiente de correlação foram de 0.1537 e 92.35%, respectivamente.

Diante dos benefícios apresentados para a realização da previsão da demanda de energia elétrica, o método proposto pode proporcionar uma boa contribuição para um melhor gerenciamento do consumo de energia elétrica e identificação de possíveis defeitos.

## REFERÊNCIAS

Behnke, R. P., Reyes, L., Estévez, G. J., Smart grid solutions for rural areas. **IEEE Power and Energy Society General Meeting**, San Diego, CA, pp. 1-6, 2012.

Gu, I. Y. H., Emberg, N., Styvakakis, E.: A statistical-based sequential method for fast online detection of fault induced voltage dips. **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 19, no 2., pp. 497-504, Abril, 2004.

Lasseter, B.: Microgrids [distributed power generation]. **IEEE Power Engineering Society**, vol. 1, pp. 14-149, 2001.

Lasseter, R. H.: Smart distribution: coupled microgrids. **Proceedings of the IEEE**, vol. 99, no. 6, pp. 1074-1082, 2011.

Olivares, D. E. et al. Trends in Microgrid Control, **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 5, no. 5, pp. 1905-1919, 2014.

Pinto, R. F., et al. Study on daily demand forecasting orders using artificial neural network. **IEEE Latin America Transactions**, vol. 14, no. 13, pp. 1519-1525, 2016.

Santos, M. M., Soares, F. C., Russi, J. L.: Modeling typical power demand curves using climatic data. **IEEE Latin America Transactions**, vol. 14, no. 7, pp. 3278-3284, Julho, 2016.

Solanki, B. V. et al. Including smart loads for optimal demand response in integrated energy management systems for isolated microgrids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 8, no 4, pp. 1739-1748, 2017.

Villacorta, C. A. C, Lima, G. C. Forecasting natural gas consumption using ARIMA models and artificial neural networks. **IEEE Latin America Transactions**, vol. 14, no. 5, pp. 2233-2238, Maio 2016.

# Capítulo 05

## ANÁLISE DO NÍVEL DE RUÍDO EM UMA MODALIDADE DE CANTEIRO DE OBRA NO MUNICÍPIO DE CARUARU – PE

**SÉRGIO RODRIGUES DE OLIVEIRA**

Centro Universitário Vale do Ipojuca

**LORY MARIA CASÉ SILVA**

Centro Universitário Vale do Ipojuca

**EVANDRO DE SOUZA QUEIROZ**

Universidade Federal Rural de Pernambuco

**JOSÉ THIAGO BRANDÃO DA SILVA**

Centro Universitário Maurício de Nassau

**LUIZ FILIPE TEIXEIRA NUNES**

Centro Universitário Vale do Ipojuca

**ARLA CLARA DA SILVA**

Centro Universitário Vale do Ipojuca

**MARIA EDUARDA DE LIMA SILVA**

Centro Universitário Vale do Ipojuca

**Resumo:** A exposição ao ruído é uma das maiores causas de doenças ocupacionais, o alto nível de ruído é grande causa de insatisfação de funcionários em ambientes como o da construção civil. Nesse contexto, este artigo objetiva analisar os níveis de pressão sonora que os trabalhadores estão expostos em uma modalidade de canteiro de obra no município de Caruaru-PE, realizada através da coleta e processamento de informações por meio da análise de dados numéricos obtidos com as aferições do ruído através do medidor de nível de pressão sonora. Os resultados das aferições obtidas para os equipamentos analisados do canteiro de obra foram os seguintes, em relação às distâncias de 1 (um), 2 (dois) e 3 (três) metros, respectivamente: Betoneira 83,3 dB(A) - 83,1 dB(A) - 81,4 dB(A); Serra Mármore 92,8 dB(A) – 92,0 dB(A) – 91,0 dB(A); Furadeira 99,0 dB(A) - 87,0 dB(A) - 82,6 dB(A). A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que, a utilização de EPIs adequados, no caso em questão o protetor auricular, é fundamentalmente importante para todos os trabalhadores que operam e que estão no mesmo ambiente da serra mármore e da furadeira, também para os trabalhadores que estão numa distância de até 3 metros da operação desses equipamentos.

**Palavras-chave:** Segurança do trabalho, ruído, doenças ocupacionais, pressão sonora.

**Abstract:** The noise exposure is one of the major causes of occupational diseases, the high level of noise is a great cause of collaborators dissatisfaction in environments like construction industry. In this context, this article aims to analyze of sound pressure levels that workers are exposed in a modality of building site on the city of Caruaru- PE, done

through the collection and processing of information by way numerical data analysis obtained with noise measurements using sound pressure level meter. The results of measurements obtained for the equipments analyzed at the building site were as follows, in relation to distances of 1(one), 2 (two) and 3 (three) meters, respectively: Concrete mixer 83,3 dB(A) - 83,1 dB(A) - 81,4 dB(A); Marble saw 92,8 dB(A) – 92,0 dB(A) – 91,0 dB(A); Drill 99,0 dB(A) - 87,0 dB(A) - 82,6 dB(A). From the results obtained, it is possible to conclude that the use of appropriate IPE, in this case the earplug, is fundamentally important for all workers who operate and who are in the same environment as marble saw and drill, also the workers who are at a distance of up 3 meters of operation of this equipments.

**Keywords:** Workplace safety, noise, occupational diseases, sound pressure.

## INTRODUÇÃO

O local de trabalho é onde passamos grande parte dos nossos dias. No Brasil, a maioria dos funcionários ficam em média pelo menos oito horas diárias ou 44 horas semanais, no ambiente de trabalho, como é especificado na CLT (Consolidação das Leis Trabalhistas).

Para que possa melhorar a qualidade de condições de trabalho desses colaboradores é necessário que o ambiente seja salubre e confortável. Alguns fatores comprometem a qualidade do ambiente de trabalho, entre eles podemos destacar o ruído.

Objetivando predicamentar o ambiente de trabalho, os higienistas do trabalho consideram o ruído, como um agente físico indesejável com limites de tolerância determinados pela norma regulamentadora do Ministério do Trabalho, NR-15.

Segundo Saliba (2009) a emissão de ruídos é provocada por vibrações ou alterações de pressão dentro de um “meio elástico”, que são possíveis ser detectadas pelo sistema auditivo. Dentro do “meio elástico” as partículas do meio retomam ao seu lugar inicial depois de desordenada pela onda vibracional. Tais vibrações acontecem através de meios sólidos, líquidos ou gases. Dessa forma, o elemento mais relevante a ser medido, é a variação de pressão fomentada pelas ondas sonoras, levando sempre como situação de parâmetros a pressão atmosférica normal ( $\approx 10^5$  Pa).

$$Lp = 20 \times \log \left( \frac{p}{p_0} \right)$$

Onde,

$Lp$  – nível de pressão sonora;

$p$  – valor da pressão sonora em Pa;

$p_0$  - valor da pressão sonora de referência:  $2 \times 10^{-5}$  Pa.

De acordo com Bistafa (2011) som, são vibrações das partículas que se expandem com base em estruturas vibrantes. Contudo normalmente necessita de um simples estímulo para que as partículas do ar se agitem e assim produzam a variação de pressão.

De acordo com SALIBA (2018), o ruído é um agente físico.

Segundo BERISTAIN (1998), a construção civil é palco de inúmeros geradores de ruídos em níveis altíssimos que afetam a comunidade de maneira bem significativa. Devido as características da atividade construtiva, é normal que ocorram ruídos contínuos e impulsivos com amplitudes muito variadas.

Considera-se relevante tipificar o ruído, para mensurar os limites de tolerância ao nível de pressão sonora. Os equipamentos da construção civil originam ruídos que podem ser definidos como: ruído de impacto e ruído contínuo ou intermitente (MENEZES JUNIOR, 2002).

Ao entendimento da NR 15, anexo nº 2, ruído de impacto é aquele que apresenta picos de energia acústica de duração abaixo a 1 segundo, com intervalos superiores a 1 segundo. Para medir deve-se utilizar de um medidor de nível de pressão sonora, medindo em decibéis (dB), operando no circuito linear e circuito de resposta para o impacto. O limite aceitável para o ruído de impacto é de 130 dB (LINEAR) e 120 dB (C). Nos espaços de tempo entre os picos, o ruído existente deverá ser avaliado como ruído contínuo.

De acordo com a NR-15 –Atividades e Operações Insalubres, Anexo nº 1, que estabelece uma tolerância para o ruído contínuo ou intermitente, o ruído contínuo é aquele não classificado como ruído de impacto e que ser avaliado em decibéis (dB), com o instrumento de nível de pressão sonora utilizando no circuito de resposta lenta (SLOW). Aos níveis de ruídos o limite máximo de tolerância para exposição é de 115 dB (A).

Dentro do canteiro de obras, existe uma quantidade significativa de operários expostos a níveis de ruídos elevados. Ruído é um risco ambiental. Então esse excesso pode provocar perdas na qualidade de produção e acidente de trabalho devido a acometimentos por adoecimentos tais como, alterações físicas, mentais e sociais. (PALMA et al., 2008; LOPES et al., 2009; GANIME et al., 2010, pg 1-10).

É notório que o ruído gerado em canteiros de obras é causado por máquinas, equipamentos e processos de produção ruidosos, que pode ser acentuado pela aglomeração excessiva de equipamentos ruidosos no mesmo local ou pela falta de organização e uso inadequado dos espaços.

Segundo Araújo (2007) os efeitos do ruído na audição podem ser divididos em três categorias:

- Mudança temporária Limiar: É uma alteração temporária no limiar auditivo.



- Trauma Acústico: É uma lesão causada ao ouvido por ruídos de maneira repentina e potente.
- Perda auditiva induzida por ruído: É também conhecida como PAIR. Estar exposto ao Ruído em excesso, é uma das sequelas mais comuns de perda auditiva.

Traduzimos PAIR, como uma doença que destrói a células ciliares localizada na cóclea pela exposição ao ruído excessivo (80 a 120 dB).

O trabalho com exposição a altos níveis de ruído é caracterizado como uma atividade insalubre.

Conforme a CLT art. 189 insalubridade pode ser definida por atividades, ou operações que exponham os funcionários a agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância em função do tempo de exposição.

Para o gerenciamento da emissão de ruído e cuidados com os trabalhadores existem normas que estabelecem os limites de exposição ao ruído, como a NR-15, e outras que possuem destaque como, NBR 10151:2000 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando Conforto da Comunidade – e a NBR 10152:1987 – Avaliação do Ruído Ambiente em Recintos de Edificação Visando o Conforto dos Usuários, atualmente em revisão.

Outra que merece destaque é a NR-9 - Programas de Prevenção de Riscos Ambientais prioriza a obrigatoriedade da elaboração e implementação por parte de todos os empregadores e instituições, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA, almejando a preservação da saúde e da integridade física dos trabalhadores.

O principal objetivo do PPRA é transformar a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais em uma forma de banir ou minimizar os riscos para os trabalhadores e terceirizados, melhorando o desempenho dos negócios e auxiliando as organizações em geral passando para o mercado uma imagem de empresa responsável e consciente

Sendo assim, como combater ou mitigar esse agente físico, e dar melhores condições aos trabalhadores que estão expostos ao ruído em canteiros de obra, é imprescindível.

Levando em consideração as três áreas de atuação para o controle de ruídos, geração, propagação e recepção, a redução na fonte é de máxima importância para obterem-se razoáveis decréscimos nos níveis de ruídos. Essa, porém, é a mais difícil de minimizar, pois significa alterar projetos e modos de produção na indústria de equipamentos.

As importantes formas de controle de ruído na fonte são (SALIBA, 2004; SOUZA COSTA, 2009) apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** - Formas de controle de ruído

<b>CONTROLE DE RUÍDO</b>	
1	Seleção de equipamentos isentos ou pouco ruidosos;
2	Se possível, impedir o contato entre peças da máquina;
3	Aplicar silenciadores e abafadores;
4	Lubrificar de forma eficaz, usando lubrificante com viscosidade indicada pelo fabricante;
5	Programar a lubrificação periódica das partes móveis;
6	Substituição de equipamentos gastos e defeituosos;
7	Substituir partes metálicas por partes plásticas se possível;
8	Regular motor e outros componentes da máquina

**Fonte:** (SALIBA, 2004; SOUZA COSTA, 2009)

Outro fator importante da gestão é a implantação do sistema gestão segurança ocupacional e saúde que segundo a OHSAS 18001/NP 4397 relaciona que a segurança e a saúde no trabalho são um composto das intervenções que abrangem o controle dos riscos profissionais e a melhoria da segurança e saúde dos trabalhadores. Este sistema deve ser considerado como parte integrante do sistema de gestão de toda e qualquer organização.

Em ambientes como o da construção civil que é um local onde são utilizados equipamentos com elevados índices de ruídos; existe a necessidade de gestão e medidas de controle do ruído. Em decorrência dos vários riscos que o ruído pode acarretar ao trabalhador, esse estudo visa avaliar e possivelmente propor medidas de controle do ruído em um canteiro de obra na cidade de Caruaru-PE.

## **MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada em um canteiro de obra, está situado no município de Caruaru, que está localizado no agreste do estado de Pernambuco. A obra é um empreendimento da Construtora X, originada em Caruaru e que possui 32 anos de atividade; o canteiro será um edifício com 27 pavimentos, e, para sua construção o quadro de colaboradores é de 20 funcionários.

Para coleta de dados dessa pesquisa, foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) de modelo Svantek-971; com o objetivo de captar os níveis de

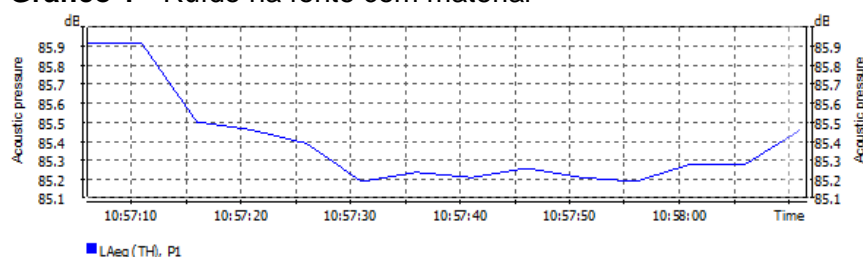
ruídos, em dB, que os equipamentos utilizados pelos trabalhadores estão produzindo, sendo o N°2152-2017 o certificado de calibração desse aparelho.

Através dos dados obtidos pelo medidor de pressão sonora, foram gerados gráficos pelo software Supervisor – Versão 1.8, gráficos no Excel, e mapeamento do ruído apresentado pelo programa AutoCAD.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Gráfico 1 e 2, são relacionados a betoneira. O Gráfico 1 representa a pior situação a nível de ruído na utilização da betoneira, com o material usual utilizado para produção de concreto em canteiros de obra, sendo eles: água, cimento, areia e brita. Quando em operação alcançou um nível de ruído de 85,9 dB(A), tornando o ambiente insalubre para o operador deste equipamento.

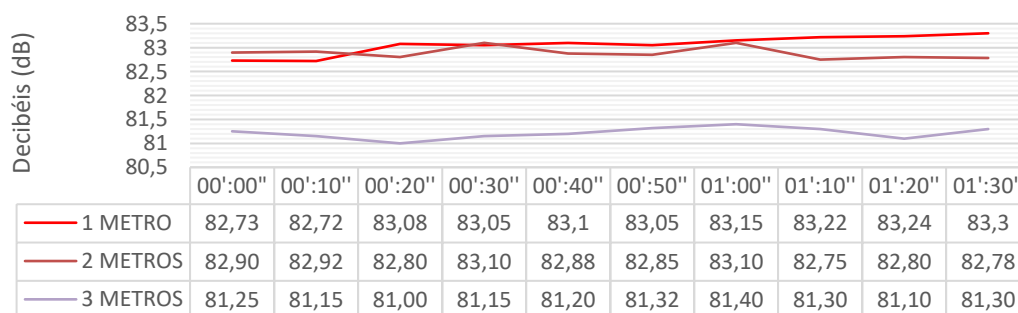
**Gráfico 1 - Ruído na fonte com material**



Fonte: (AUTORES, 2019).

O Gráfico 2 representa as aferições dos níveis de ruído a uma distância da fonte de um, dois e três metros, respectivamente. Foi possível observar que, a partir da distância de um metro, o nível de ruído ficou abaixo de 85 dB, o que torna esta zona salubre a partir desta distância para qualquer trabalhador. No entanto, os níveis de ruído apresentaram uma pequena diminuição à medida que se distanciava da fonte, isso se dá pelo fato do ambiente ser enclausurado com poucas aberturas, o que faz com que o ruído seja refletido para o mesmo ambiente.

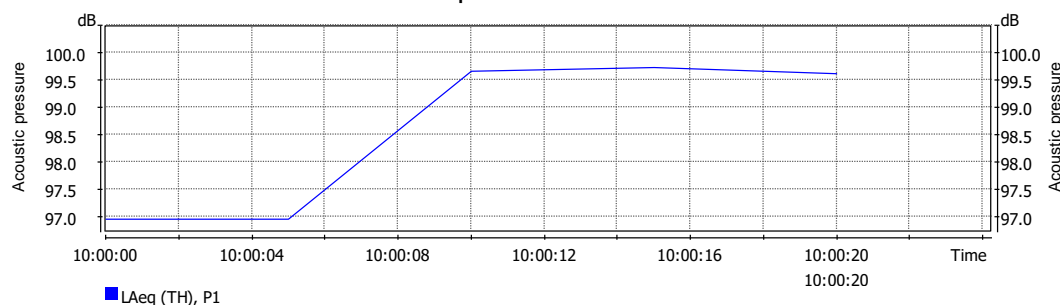
**Gráfico 2 - Ruído em relação as distâncias da betoneira**



Fonte: (AUTORES, 2019).

Os dados apresentados abaixo estão relacionados à furadeira, gráfico 3 mostra a pior situação, que é a utilização desse equipamento com o impacto, chegando a um nível de ruído alarmante de 99,7 dB(A), com 15,3 dB a menos do nível máximo de exposição ao ruído permitido pela NR-15 que é de 115 dB(A) para um tempo máximo de exposição diária de 7 minutos.

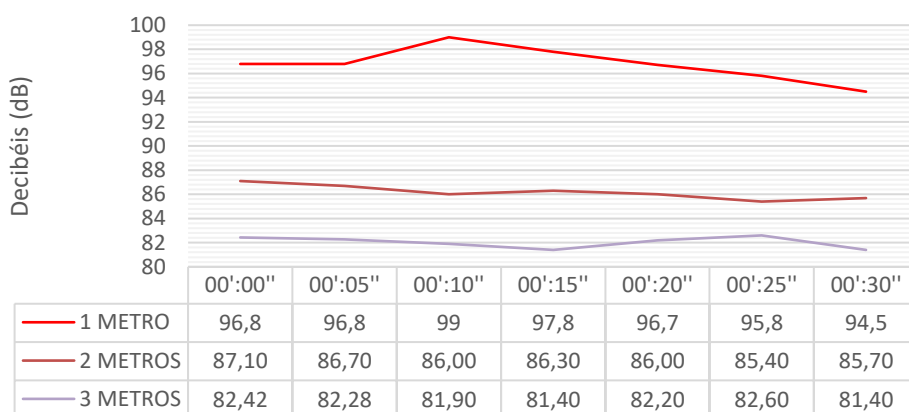
**Gráfico 3 - Ruído na fonte com impacto**



Fonte: (AUTORES, 2019).

O Gráfico 4 representa as aferições com distância de um, dois e três metros da fonte, respectivamente. Em relação ao nível de ruído na fonte, com a distância de 1 (um) metro da fonte ruidosa o nível de pressão sonora teve uma redução de 0,7 dB. Já com uma distância de 2 (dois) metros da fonte o nível de ruído reduziu em 12,6 dB, chegando a um nível máximo de 87,1 dB(A), tornando o ambiente insalubre até esta distância. Entretanto, com uma distância de 3 (três) metros da fonte geradora do ruído o nível de pressão sonora é reduzido para 82,6 dB(A), ficando abaixo do limite máximo permitido pela NR-15, classificando o ambiente salubre a partir desta distância.

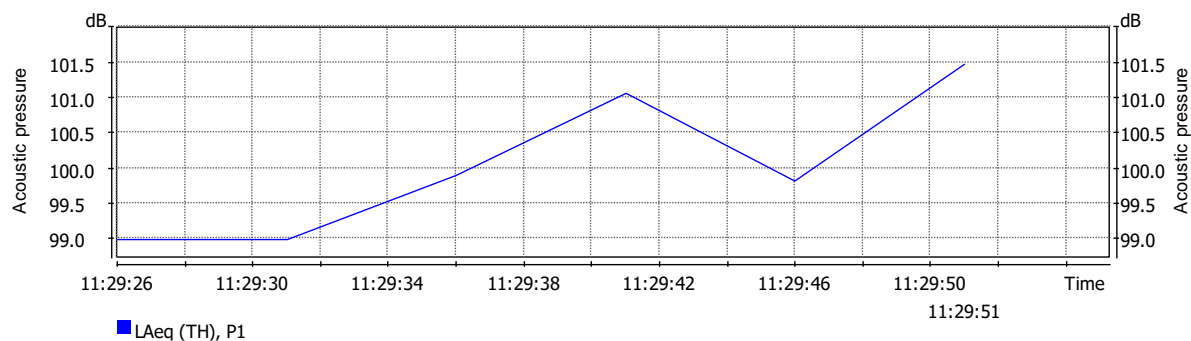
**Gráfico 4 - Ruído em relação as distâncias da furadeira**



Fonte: (AUTORES, 2019).

Os dados a seguir são em referência a Serra Mármore. O Gráfico 5 apresenta o nível de ruído na fonte com corte, chegando a um nível de 101,5 dB(A).

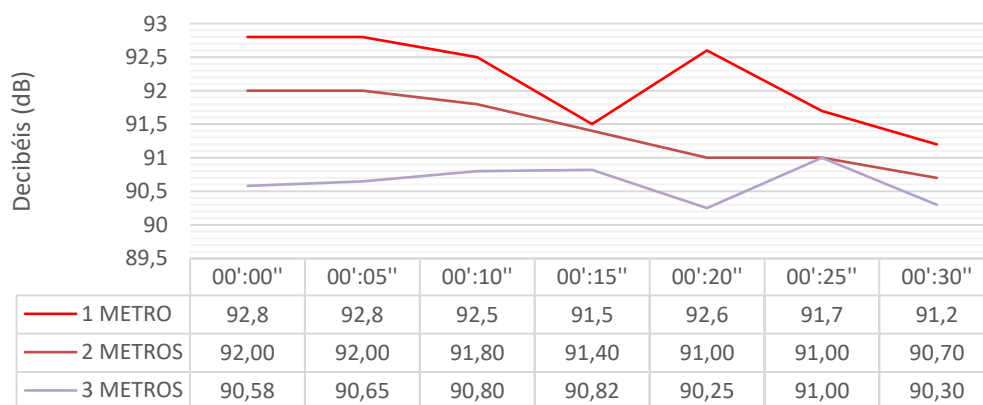
**Gráfico 5 - Ruído na fonte com corte**



**Fonte:** (AUTORES, 2019).

O Gráfico 6 apresenta as aferições dos níveis de pressão sonora com distâncias de um, dois e três metros, respectivamente. A distância de 1 (um) obteve-se um nível de pressão sonora de 92,8 dB(A). Com um raio de distância de 2 (dois) metros da fonte ruidosa o nível de ruído atingiu um pico máximo de 92,0 dB(A). A distância de 3 (três) metros da fonte ruidosa, alcançou um nível de ruído máximo de 91,0 dB(A). Mesmo o nível de ruído reduzindo a cada distância, nos três pontos os valores dos níveis de pressão sonora ultrapassaram o limite de tolerância de 85,0 dB(A), conforme o Anexo nº1 da NR-15. Dessa forma, qualquer trabalhador que esteja no mesmo ambiente que seja utilizado este equipamento até uma distância de três metros, estará em um ambiente insalubre.

**Gráfico 6 - Ruído em relação as distâncias da serra mármore**

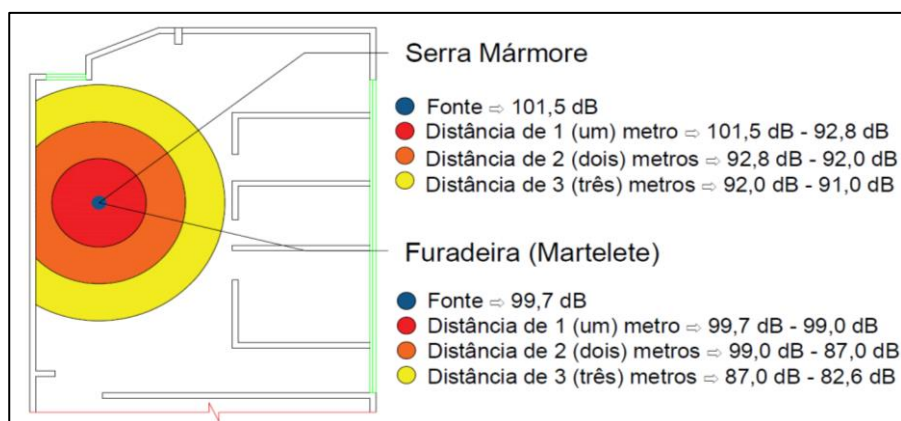


**Fonte:** (AUTORES, 2019).

## Mapeamento de Ruído nos canteiros de obras

O canteiro de obras visitado está localizado numa região residencial da cidade de Caruaru-PE. Os layouts do canteiro de obras da Construtora X estão representados nas Figuras 1 e 2. As aferições dos níveis de ruído dos equipamentos Serra Mármore e Furadeira foram coletadas no 27º pavimento desta edificação, sendo este ambiente fechado com algumas barreiras em forma de parede. O local de aferição foi o mesmo para a Serra Mármore e a Furadeira, onde foi possível notar uma diminuição dos níveis de ruído a partir do momento em que se distanciava da fonte ruidosa, no entanto, mesmo com a distância máxima de 3 (três) metros, representado pela cor amarela na Figura 2, esta zona é insalubre com a utilização de qualquer um destes equipamentos. Contudo, para a furadeira (martelete) a partir de uma distância de 3 (três) metros da fonte ruidosa o ambiente torna-se salubre.

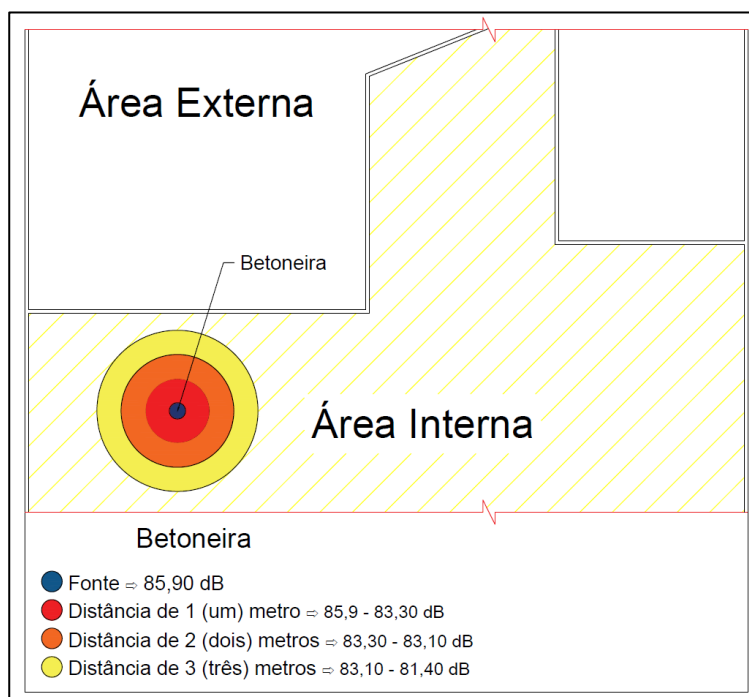
**Figura 1** - Mapeamento de Ruído da Serra Mármore e Furadeira no canteiro de obra da Construtora X



**Fonte:** (AUTORES, 2019).

A medição da betoneira foi efetuada no térreo como mostra a Figura 2, sendo este ambiente coberto, com algumas aberturas nas laterais. Foi possível notar que o ruído na fonte chegou a 85,9 dB(A) e com uma distância de um metro o ruído chegou a 83,3 dB(A), o que torna essa zona representada pela cor vermelha, insalubre para qualquer trabalhador. No entanto, a partir da zona representada pela cor laranja é seguro para qualquer trabalhador, pois a dosagem de ruído está entre 83,3dB(A) e 83,1 dB(A), o que torna o ambiente salubre.

**Figura 2 -** Mapeamento de Ruído da betoneira no canteiro de obra da Construtora X



**Fonte:** (AUTORES, 2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desta pesquisa, pode-se observar que o canteiro de obra da Construtora X, onde havia betoneira, furadeira e serra mármore, apresentaram valores pontuais na fonte que ultrapassaram o limite de tolerância de 85dB (A), para o nível de pressão sonora, conforme a NR – 15. Entretanto, todos os operadores desses equipamentos faziam uso do protetor auricular, com os respectivos certificados de aprovação (CA): Operador da Betoneira (CA: 11.882), Operador da Furadeira (CA: 27.010) e Operador da Serra Mármore (CA: 27.010), descaracterizando assim, a condição de insalubridade, já que esses EPI's promovem uma atenuação dos níveis de ruído abaixo de 85dB.

No ambiente onde eram operados os equipamentos serra mármore e furadeira, existiam outros trabalhadores, todos sem utilizar o protetor auditivo. Verificou-se que, até mesmo a uma distância de 3 (três) metros da serra mármore, o nível de ruído chegou a 91 dB(A), o que torna o ambiente insalubre para os trabalhadores que estavam na área de abrangência, precisando utilizar o protetor auricular. Quanto ao uso da furadeira, só foi possível chegar a um nível de pressão sonora abaixo de 85 dB a partir de uma distância de 3 (três) metros da fonte ruidosa, dessa forma, todos os trabalhadores inseridos na zona de alcance devem utilizar o protetor auricular. Recomenda-se a utilização do protetor auricular, para todos os trabalhadores que estejam no mesmo ambiente onde são operadas a serra



mármore e a furadeira, até uma distância de 3 (três) metros da fonte, como é mostrado no mapeamento representado pelas Figuras 1 e 2.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, G. 2007. **Normas regulamentadoras comentadas**: legislação de segurança e saúde no trabalho. 6ªed., Rio de Janeiro, GVC, 1196 p.

BERFILOPES, D. M.; LIMONGI, S. C. O. (Org.). **Tratado de fonoaudiologia**. São Paulo: Roca, 2004. p. 631-642.

BERISTAIN, S.M.C. **El ruido es un serio contaminante**. ANAIS do I congresso Ibero-americano de Acústica, I Simpósio de Meteorologia e Normalização em Acústica e Vibrações do Mercosul e 18º Encontro da SOBRAC. Florianópolis: 05 a 08 de abril de 1998.

BISTAFA, Syvil R. **Acústica Aplicada ao controle do ruído**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

BONAVIDES, Paulo, **Curso de Direito Constitucional**. 18ed., São Paulo: Malheiros Editores, 2006.

BARROS, Alice Monteiro de. **Curso de direito do trabalho**. 9. ed. São Paulo: LTr, 2013.

BARROS, A. J. P.; LEHFELD, N. A. S. **Projeto de pesquisa**: propostas metodológicas. Petrópolis: Vozes, 2010. Disponível em: <<http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edicao.pdf>>. Acesso em: 15 novembro de 2018.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.452, de 01 de maio de 1943. **Aprova a consolidação das leis do trabalho**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm)>. Acesso em: 21 de maio de 2019.

BRASIL. Lei n.8.213, de julho de 1991. **Dispõe sobre planos de Benefícios de previdência social e da outras providencias**. Publicado no D.O.U de 25/7/1991 e replicado no D.O.U de 14.8.1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov/Br/ccivil\\_03/leis/l8213\\_cons.htm](http://www.planalto.gov/Br/ccivil_03/leis/l8213_cons.htm)> acesso em 21 de setembro de 2018.

\_\_\_\_\_. **NHO 01**- Norma de higiene Ocupacional- Procedimento Técnico- Avaliação da exposição ocupacional ao Ruido. FUNDACENTRO, SP. 2001.

CARDOSO, F.F. **Ferramentas, Máquinas e Equipamentos de Obras Civis**. São Paulo: Escola Policlínica da Universidade de São Paulo, 1990.

CARVALHO, A.P. Oliveira de. **Acústica Ambiental e de Edifícios**. Porto, 2009.

**Determination of noise emission of construction sites**. ICA Montreal. 2013.

DIAS, V. M. M.; SLAMA, J. G. Introdução à Concepção Arquitetônica de Lugar de Trabalho Industrial a Nível de Ruído Reduzido. **ANAIS** do VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Qualidade no Processo Construtivo – ENTAC. Florianópolis: 27 a 30 de abril de 1998.

DIEHL, Astor Antonio. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

“Efeitos do ruído na audição de trabalhadores de lavanderia hospitalar” Rev. CEFAC. 2014 Mar-Abr; 16(2):395-404.

FERREIRA JÚNIOR, M. **Perda auditiva induzida pelo ruído**. In: FERREIRA JÚNIOR, M. (Ed.). Saúde no trabalho. São Paulo: Roca, 2000. p. 262-285.

FIORINI, A. C. **Audição: impacto ambiental e ocupacional**. In: FERREIRA, L. P.;

FILHO, José Ribeiro de Souza. Obtenção E Caracterização De Um Eco Compósito À Base De Látex E Bainha Da Palha Do Coqueiro Para Isolamento Térmico E Acústico. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. UFRN – Natal, 2015.

FUNDACENTRO. **Avaliação da exposição ocupacional ao ruído: Norma de Higiene Ocupacional NHO1** – Procedimento técnico. São Paulo, 2001. 40 p.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. 696p.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. - São Paulo, Atlas, 2008.

GANIME JF, ALMEIDA-DA-SILVA L, ROBAZZI MLCC, VALENZUELA-SAUZO S, FALEIRO SA. **O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura**. Revista Enfermería Global, 19(1): 1-14, 2010.

LACAZ, Francisco Antonio de Castro. O campo saúde do trabalhador: resgatando conhecimento e práticas sobre as relações trabalho-saúde. **Cadernos de Saúde**. Rio de Janeiro. 23(4): 757 – 766. Abril.2007.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. - São Paulo, Atlas 2003.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Metodologia do trabalho científico. 6. ed. Revista e ampliada. São Paulo: Atlas, 2001.

LIPP, M. N. Pesquisas sobre o stress no Brasil. São Paulo: Papyrus, 1996.

MAROJA, A.M.; CARVALHO JÚNIOR, E.B.; GARAVELLI, S.L. **Noise mapping using vericles eletronic speed controllers**. In: 18<sup>th</sup> ICSV. Rio de Janeiro.2011.

MARTINS, Sérgio Pinto. Direito do Trabalho. 28. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MEDEIROS, Luana Bernardines. Ruído: Efeitos extra-auditivos no corpo humano. 1999. 33 p. Monografia (Conclusão de curso) – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica, Porto Alegre.

MENEZES JÚNIOR, C.T. **Ambiente sonoro em canteiro de obra da construção civil**. Estudo de caso: Maringá – PR. Dissertação Mestrado. Florianópolis. 2002.

MEZZARROBA, O.; MONTEIRO, C. S. Manual de Metodologia da Pesquisa no Direito. São Paulo: Saraiva, 2003.

**MENEZES** Jr, C. T. de (2002). **Ambiente sonoro em canteiro de obra da construção civil**. Estudo de caso: Maringá – PR. Dissertação de Mestrado, Universidade federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC – Brasil, 104 pgs.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Perda auditiva induzida por ruído (Pair)** / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO – TEM. **NR-9-** Programas de Prevenção de Riscos Ambientais. Disponível em <http://www.mtb.gov.br/> Acesso em 20 de setembro de 2018.

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO – TEM. **NR-15-** Atividades e Operações Insalubres. Disponível em <http://www.mtb.gov.br/> Acesso em 20 de setembro de 2018.

MORAES, Márcia Vilma Gonçalves de. **Doenças Ocupacionais: agentes: físico, químico, biológico, ergonômico**. São Paulo: Érica, 2010.

NANTHAVANIJ, S.; BOONYAWAT, T.; WONGWANTHANEE, S. **Analytical procedure for constructing noise contours**. International Journal of Industrial Ergonomics 23, p. 123-127, 1999.

NOGUEIRA, Roberto. Elaboração e análise de questionários: uma revisão da literatura básica e a aplicação dos conceitos a um caso real / Roberto Nogueira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2002.

NUSSENZVEIG, M. Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e ondas, Calor. Terceira edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1983. Vol 2

PONZETTO, GILBERTO. Mapa de riscos ambientais – NR-5. 2ª Edição. São Paulo: Editora LTR, 2007.

PORTARIA N 3.214, de 8.6.78, do Ministério do Trabalho.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de; **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª ed. Universidade FEEVALE – Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul, 2013.

REGAZZI, R.D; ARAÚJO, G.M. **Critérios para avaliação de ruído**. Divergência entre a NR15 e NHO 01 (FUNDACENTRO). Disponível em: <<http://www.safetyguide.com.br>>. Acesso 12 de setembro de 2018.

SALIBA, TUFFI MESSIAS. **Curso básico de segurança e higiene ocupacional**. 1ª Edição. São Paulo: Editora LTR, 2004.

\_\_\_\_\_. **Manual prático de avaliação e controle do ruído: PPRA** / Tuffi Messias Saliba, 7. ed. — São Paulo : LTr, 2013.

\_\_\_\_\_. **Insalubridade e periculosidade** : aspectos técnicos e práticos / Tuffi Messias Saliba, Márcia Angelim Chaves Corrêa. — 14. ed. — São Paulo : LTr, 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual prático de higiene ocupacional e PPRA** : avaliação e controle dos riscos ambientais / Tuffi Messias Saliba, colaboradora Maria Beatriz de Freitas Lanza. — 7. ed. — São Paulo : LTr, 2015.

\_\_\_\_\_. **Manual prático de higiene ocupacional e PPRA** : avaliação e controle dos riscos ambientais / Tuffi Messias Saliba, colaboradora Maria Beatriz de Freitas Lanza. — 9. ed. — São Paulo : LTr, 2018.

SANTOS, Gilberto et al. **Implementação de Sistemas Integrados de Gestão Qualidade, Ambiente e Segurança**, Publindústria, Edições Técnicas, Porto, 2008.

SANTOS, U.P (Org). **Ruído: riscos e prevenção**. São Paulo: Hucitec, 1994. 157 p. SESI. SAÚDE. Programa de prevenção a riscos ambientais. Disponível em , acesso 09 out.de 2018.

SILVA.D.R.**O ruído ambiental na cidade de Águas Claras- DF: Percepção e Realidade**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental). Universidade Católica de Brasília, Brasília DF. Março de 2011.119p.

TSUKERNIKOV, I.E.; SHUBIN, I.L.; IVONOV, N.I; NEVENCHANNAYA, T.O; NEKRASOV, I.A WEERDMEESTER, Bernard; DUL Jun et al. **Ergonomia Prática**. 3 ed. Tradução: Itiro Ida.São Paulo: Blucher,2012.

WHO, W.H. **Guidelines for community noise**. (B.Berglund, T.Lindvall, & D.H. Schwela, Eds).London, United Kigdon. April de 1999.159p.

WORD HEALTH ORGANIZATION- WHO.**Noise.Environmental Healt Criteria** 12.Geneva, 1980.Disponivel em <http://www.who.int/>.Acesso em 12 de setembro de 2018.

# Capítulo 06

## COMPARAÇÃO DA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE EFLUENTES TÊXTEIS UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS DE FERRO E CARVÃO ATIVADO

**MARIA EDUARDA DE LIMA SILVA**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**CESAR SANTOS SILVA**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**ERICK VINÍCIUS BEZERRA MARTINS**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**RONALDO FERREIRA DA SILVA FILHO**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**GRAZIELMA FERREIRA DE MELO**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**LORY MARIA CASÉ SILVA**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**IGOR AUGUSTO CAVALCANTI VIDAL**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**SHIRLEI QUEIROZ DE VASCONCELOS TORRES**

Centro Universitário do Vale do Ipojuca

**RESUMO:** Os metais pesados são normalmente encontrados nos efluentes de indústrias têxteis. O despejo incorreto desses efluentes podem ocasionar sérios danos ao meio ambiente, como a morte de animais aquáticos, comprometimento de represas e destruição da flora aquática, dependendo do metal, pode também causar danos à saúde humana. O estudo de materiais nanométricos vem sendo cada vez mais intensificado, com isto, a síntese de nanopartículas magnéticas está sendo uma alternativa simples e com um bom custo benefício para o tratamento desses efluentes. O objetivo deste trabalho é a síntese de nanopartículas magnéticas utilizando o método de co-precipitação, a aplicação das mesmas e a comparação do tratamento com carvão ativado. O processo de tratamento realizado em repouso com nanopartículas e adição de 10% de carvão ativado mostrou ser o mais eficaz, apresentando a remoção de 95,42% da turbidez, 92,13% do cobre, 91,54% do ferro, 99,45% do cromo e obteve um pH de 8,75.

**PALAVRAS CHAVES:** Nanopartículas, meio ambiente, metais pesados, efluentes.

**ABSTRACT:** Heavy metals are usually found in wastewater from textile industries. The incorrect discharge of these effluents can cause serious damage to the environment, such as the death of aquatic animals, damage to dams and destruction of aquatic flora, depending on the metal, can also cause damage to human health. The study of nanometric materials

has been increasingly intensified, as a consequence, the synthesis of magnetic nanoparticles is being a simple and cost-effective alternative for the treatment of these effluents. The objective of this work is the synthesis of iron nanoparticles with activated carbon for the treatment of textile effluents. The treatment process carried out at rest with nanoparticles and the addition of 10% activated carbon proved to be the most effective, with the removal of 95,42% of the turbidity, 92.13% of the copper, 91,54% of the iron, 99,45% of chromium and obtained a pH of 8,75

**Keywords:** nanoparticles, environment, heavy metals

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso universal, onde todos os seres humanos precisam dela para sua sobrevivência. É um composto altamente requisitado devido a suas diversas funções, como componente bioquímico, que é importante para vida de várias espécies e para produção de diversos bens de consumo. Contudo, esse recurso está cada vez mais escasso na natureza, devido a diversos fatores como consumo excessivo, mudanças climáticas, degradação de recursos naturais e poluição e degradação das reservas hídricas.

As indústrias de modo geral utilizam grandes quantidades de água em seus processos. O setor têxtil é um dos maiores setores industriais do mundo, tanto em volume de produção quanto em quantidade de funcionários. Suas plantas de produção variam desde pequenas produções artesanais até plantas altamente automatizadas, mas todas elas se caracterizam por necessitarem de grandes volumes de água, corantes e produtos químicos (SANIN, 1997).

Estão sendo estudados novos métodos de tratamento de efluentes que sejam tão eficientes quanto os convencionais, e que possuam um ótimo custo benefício para as indústrias que poderão favorecer e incorporar o conceito de sustentabilidade.

Pesquisas em nanopartículas vem se apresentando como uma tecnologia inovadora para o tratamento de efluentes, que através da manipulação de alguns materiais, podem ser formados novos materiais na sua escala nanométrica com suas características otimizadas. Um exemplo, são as nanopartículas magnéticas de ferro, que contém um ótimo poder de adsorção nos efluentes, sendo possível obter a remoção de grande parte dos metais pesados existentes.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo a remoção dos metais, cobre, cromo e ferro de efluentes industriais têxteis com o uso de nanopartículas magnéticas de ferro com adição de carvão ativado e utilizando apenas o carvão ativado, fazendo o comparativo dos tratamentos.

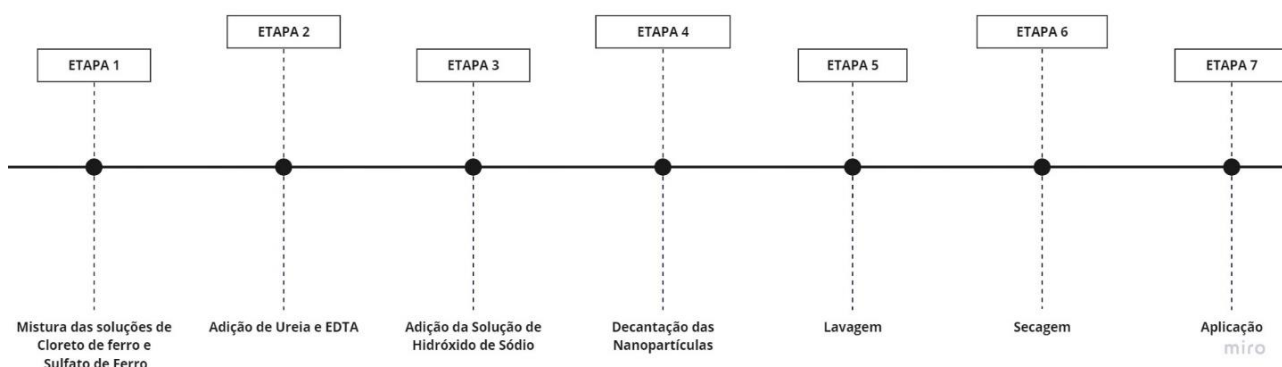
## MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste na aplicação de nanopartículas magnéticas para remoção de metais pesados de efluentes em uma indústria têxtil localizada na cidade de Caruaru – PE, desenvolvidas no laboratório de Engenharia Química do Centro Universitário Unifavip | Wyden.

### SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

A figura 1 mostra a descrição dos processos utilizado na síntese das nanopartículas magnéticas.

**Figura 5:** Descrição dos processos da síntese de nanopartículas magnéticas



**Fonte:** O autor

- **Etapa 1:** Mistura das Soluções de Cloreto de Ferro e Sulfato de Ferro

O método utilizado para síntese das nanopartículas magnéticas de ferro seguiu pelo processo de co-precipitação química com hidróxido de sódio.

A princípio, um volume de 10 mL de solução de cloreto de ferro III hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) a 1 mol/L foi misturado a 20 mL de solução de sulfato de ferro II heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) a 0,5 mol/L sob agitação mecânica e aquecimento constante (1000 rpm). A temperatura inicial do processo foi de 25°C e ao longo subiu para 50°C.

- **Etapa 2:** Adição de Ureia e EDTA

Foi adicionado 0,7 g de EDTA ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$ ) com 3,6 g de ureia ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) a mistura mantendo a agitação mecânica e aquecimento por 5 minutos, como pode-se observar na figura 2:



**Figura 6:** Mistura dos sais de ferro com adição de ureia e EDTA



**Fonte:** O autor

- **Etapa 3:** Adição da Solução de Hidróxido de Sódio

Foram gotejados lentamente 40 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 3,5 mol/L, a solução ficou com uma tonalidade preta após essa adição, como pode ser observado na figura 3:

**Figura 7:** Nanopartículas após a adição do hidróxido de sódio



**Fonte:** O autor

Após essa etapa, a agitação e o aquecimento foram mantidos por um período de 12 minutos, em seguida, o aquecimento foi interrompido e a agitação permaneceu por mais 8 minutos. O processo de síntese das nanopartículas magnéticas de ferro totalizou um tempo de 20 minutos. No final do processo, a temperatura da solução foi de aproximadamente 60°C, tendo uma solução viscosa de cor preta.

- **Etapa 4:** Decantação das Nanopartículas

A segunda parte do processo de síntese das nanopartículas foi a lavagem para remoção dos subprodutos como os íons de cloreto, sulfato e sódio. A solução das nanopartículas foi colocada em contato com um campo magnético externo com o auxílio de um ímã de neodímio localizado no fundo do béquer.

- **Etapa 5:** Lavagem

A solução foi deixada em repouso por um tempo de 15 minutos, e em seguida foi realizada 2 lavagens com 20 mL de água destilada para purificação das nanopartículas, como mostra a figura 4:

**Figura 8:** Lavagem das nanopartículas magnéticas



**Fonte:** O autor

- **Etapa 6:** Secagem

A última etapa do processo de síntese das nanopartículas magnéticas foi a secagem. A amostra foi colocada em uma estufa a uma temperatura de 60°C por um período de 48 horas. O produto obtido foi na forma sólida, como pode-se observar na figura 5:

**Figura 9:** Nanopartículas magnéticas de ferro



**Fonte:** O autor

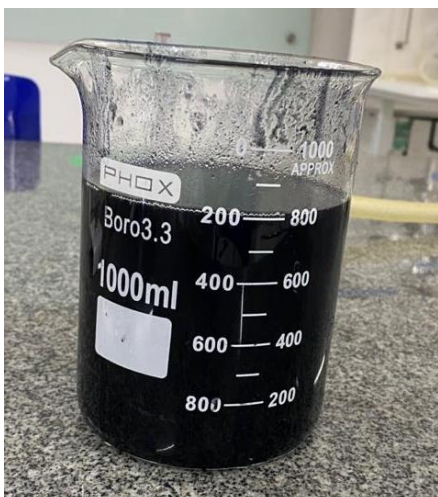
## TRATAMENTO DO EFLUENTE

A realização da etapa do tratamento do efluente têxtil consistiu nas seguintes etapas:

1. Análise dos parâmetros do efluente antes do tratamento;
2. Filtração do efluente;
3. Aplicação das nanopartículas magnéticas e do carvão ativado no efluente;
4. Filtração do efluente para separação das nanopartículas magnéticas e do carvão ativado do efluente;
5. Análise dos parâmetros do efluente após o tratamento.

A figura 6 mostra o efluente bruto logo após ser coletado.

**Figura 10:** Efluente Bruto



**Fonte:** O autor

O efluente bruto continha muitos sólidos suspensos, para deixar o tratamento mais eficiente, foi necessário realizar uma filtração do mesmo, conforme mostra a figura 7.

**Figura 11:** Filtração do efluente bruto



**Fonte:** O autor

Após essa etapa, foram aplicadas as nanopartículas magnéticas e o carvão ativado. Foi utilizado uma relação onde para cada 0,4 gramas de nanopartículas eram tratados 15 mL do efluente com a adição de 10% de carvão ativado.

A figura 8 mostra o efluente em contato com as nanopartículas magnéticas e os 10% de carvão ativado.

**Figura 12:** Nanopartículas magnéticas e carvão ativado em contato com o efluente e com o campo magnético externo



**Fonte:** O autor



O efluente ficou em contato com o campo magnético externo por um tempo de 24 horas em repouso, conforme mostra a figura 9.

**Figura 13:** Efluente durante o processo de tratamento



**Fonte:** O autor

Após o período de 24 horas, foi realizada outra filtração do efluente, para retirada das nanopartículas magnéticas.

Por fim, foram realizadas as análises dos parâmetros para verificar a eficiência do tratamento.

Os testes foram realizados em triplicada e foram realizados duas vezes, totalizando 10 repetições. Os testes foram realizados em repouso com carvão ativado (RCA); Repouso com nanopartículas (RN); repouso com nanopartículas e carvão ativado (RNCA); agitação com nanopartículas e carvão ativado (ANCA) e agitação com carvão ativado (ACA).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realização deste estudo, utilizou-se efluentes têxteis fornecidos por uma indústria têxtil localizada na cidade de Caruaru do estado de Pernambuco.

### PARÂMETROS ESTUDADOS

Para caracterização do efluente bruto e do efluente tratado foram analisados alguns parâmetros. Os parâmetros analisados foram pH, turbidez, cromo, cobre e ferro.

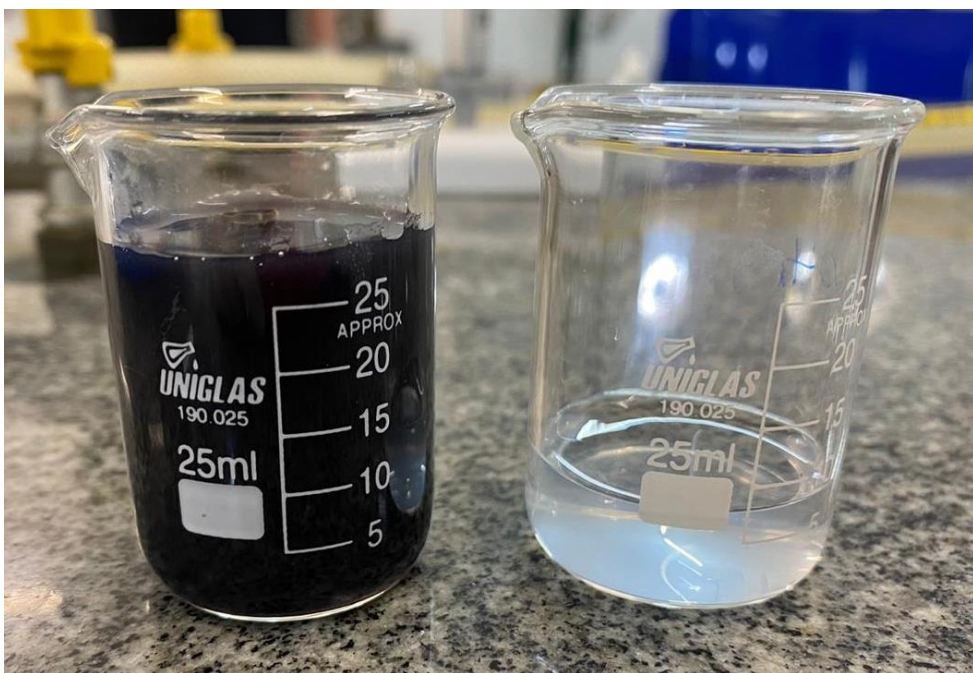
As figuras 10, 11, 12 e 13 mostram os efluentes antes e depois do tratamento utilizando nanopartículas magnéticas e carvão ativado.

**Figura 14:** Efluente antes e depois do tratamento em repouso utilizando nanopartículas e carvão ativado.



**Fonte:** O autor

**Figura 15:** Efluente antes e depois do tratamento em repouso utilizando carvão ativado.



**Fonte:** O autor

**Figura 16:** Efluente antes e depois do tratamento em agitação utilizando nanopartículas e carvão ativado.



Fonte: O autor

**Figura 17:** Efluente antes e depois do tratamento em agitação utilizando carvão ativado.



Fonte: O autor

## ANÁLISE DO pH

A partir dos dados fornecidos na tabela 1, foi possível observar que com a aplicação das nanopartículas magnéticas teve-se um aumento do pH.



**Tabela 2:** Análise do pH

Análises	Efluente bruto	RCA	RN	RNCA	ANCA	ACA
pH	7,02	8,41	9,15	8,75	8,44	8,97

Fonte: O autor

A resolução nº450 do CONAMA estabelece que o valor do pH esteja entre 5 a 9. Conforme pode-se observar na tabela 3, o tratamento com nanopartículas em repouso não ficou dentro dos parâmetros exigidos pelo CONAMA, os demais tratamentos ficaram dentro da resolução.

### ANÁLISE DA TURBIDEZ

A tabela 2 e a figura 14 apresentam os valores obtidos na remoção da turbidez do efluente bruto.

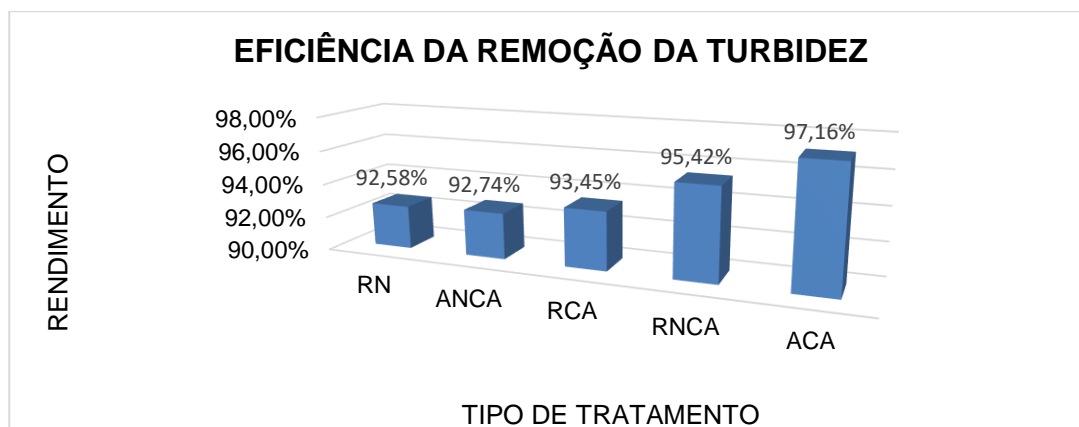
**Tabela 3:** Eficiência na remoção da turbidez

Análises	Efluente bruto	RCA	RN	RNCA	ANCA	ACA
Turbidez (NTU)	705	46,20	52,30	32,30	51,50	20,04

Fonte: O autor

De acordo com a tabela 2, foi possível observar que o tratamento em agitação com carvão ativado apresentou uma maior redução da turbidez, de 705 NTU para 20,04 NTU seguido do tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado que teve uma redução de 705 NTU para 32,30 NTU.

**Figura 18:** Gráfico da eficiência de remoção da turbidez



Fonte: O autor

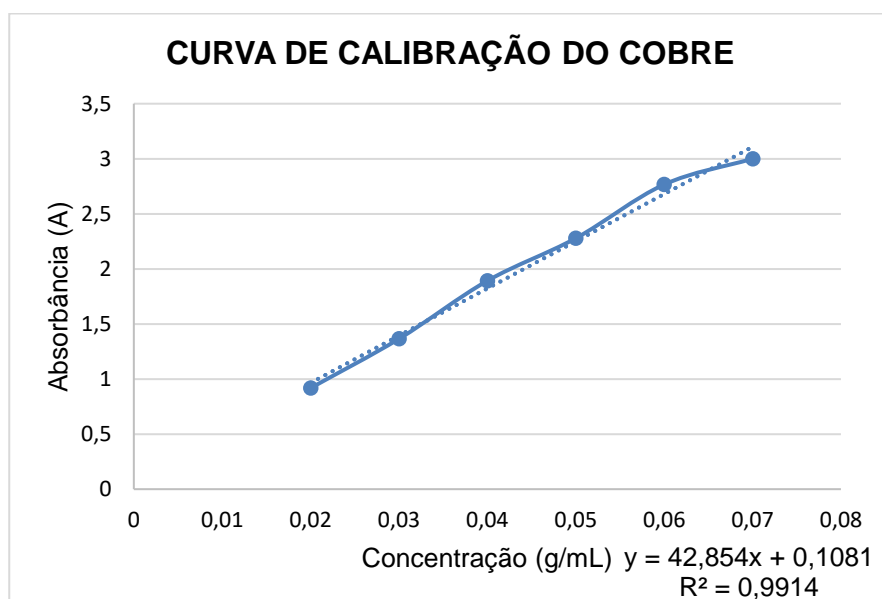
É possível observar no gráfico da figura 25 a eficiência do processo na remoção de turbidez. É possível notar que a maior eficiência foi no tratamento em agitação com carvão ativado, com 97,16% seguido de repouso com nanopartículas e carvão ativado, com uma eficiência de 95,42%.

## ANÁLISE DO COBRE

O Cobre presente nas amostras foi determinado pelo método de espectroscopia no UV-Vis com o comprimento de onda  $\lambda = 810 \text{ nm}$ .

Para realização da curva de calibração, foi seguida a metodologia descrita por (CANASSA, LAMONATO, & RIBEIRO, 2018). A figura 15 mostra a curva de calibração obtida.

**Figura 19:** Curva de calibração do cobre no espectrômetro UV-Vis



**Fonte:** O autor

A curva de calibração obtida foi:

$$y = 42,854x + 0,1081$$

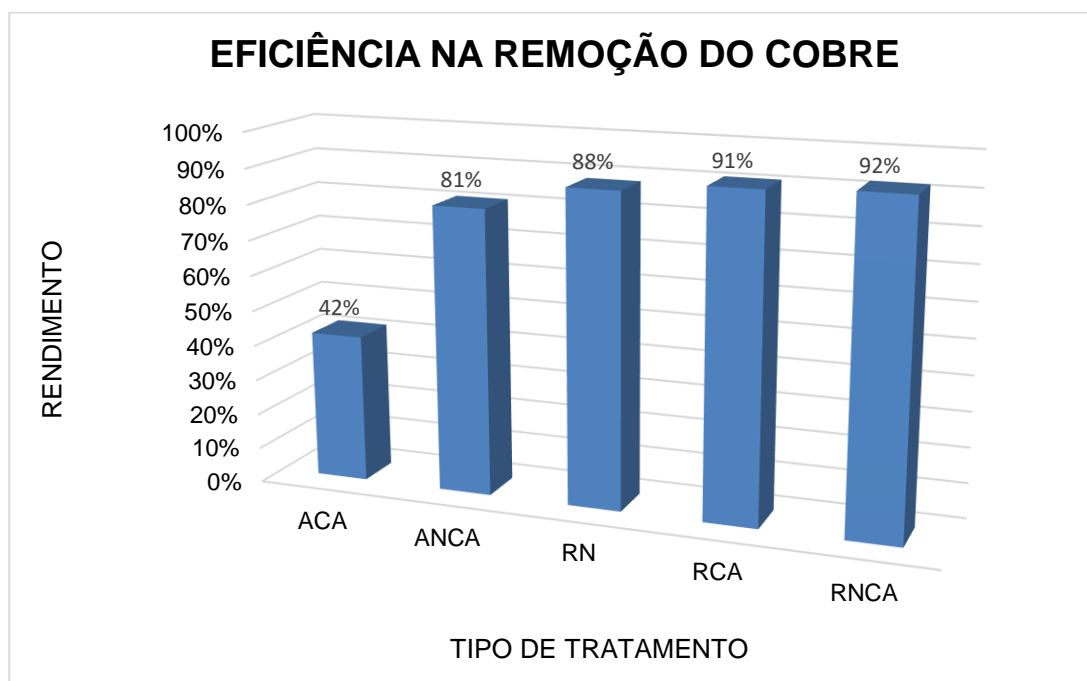
A tabela 3 e a figura 16 apresentam os valores obtidos na remoção do cobre do efluente bruto.

**Tabela 4:** Análise do Cobre

Análises	Efluente bruto	RCA	RN	RNCA	ANCA	ACA
<b>Cobre (g/mL)</b>	0,0174	$1,56 \times 10^{-3}$	$2,03 \times 10^{-3}$	$1,37 \times 10^{-3}$	0,0033	0,0101

**Fonte:** O autor

**Figura 20:** Gráfico da eficiência de remoção do Cobre



**Fonte:** O autor

De acordo com a tabela 3, foi possível observar que o tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado apresentou uma maior redução do cobre, de 0,0174 g/mL para  $1,37 \times 10^{-3}$  g/mL, seguido do tratamento em repouso com carvão ativado que apresentou uma redução de 0,0174 g/mL para  $1,56 \times 10^{-3}$  g/mL.

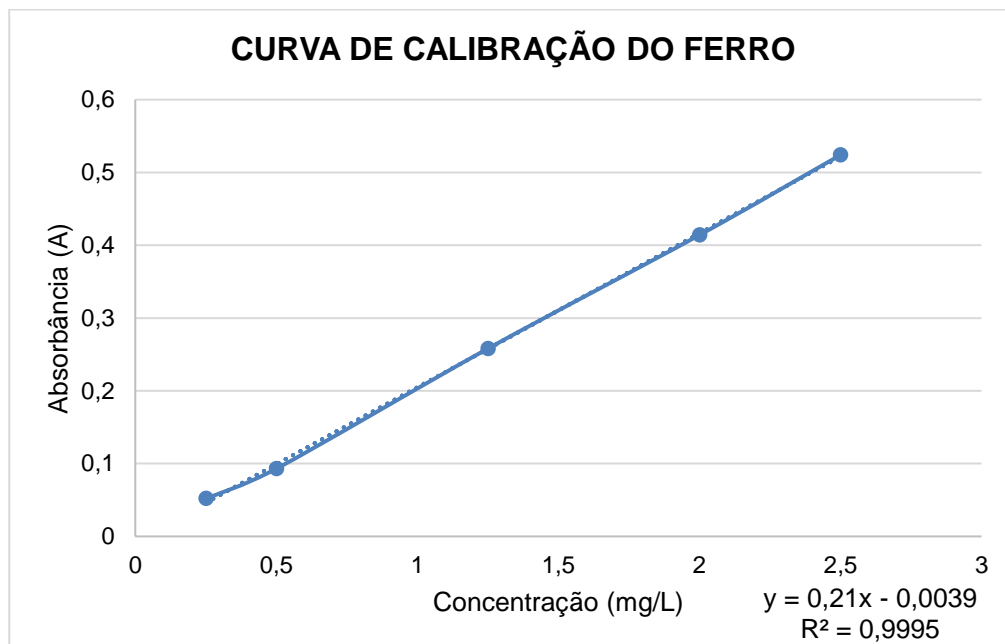
Através da análise do gráfico da figura 16 observa-se uma eficiência do processo na remoção de cobre. É possível notar que a maior eficiência foi no tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado com 92,13% seguido do tratamento em repouso com carvão ativado, com uma eficiência de 91,03%.

## ANÁLISE DO FERRO

A determinação do teor de ferro nos efluentes seguiu a metodologia descrita por (CABRAL, JÚLIO, & FONSCECA, 2011) realizada por meio de um espectrofômetro UV-vis, com o comprimento de onda  $\lambda = 512$  nm.

A curva obtida na determinação do ferro pode ser observada no gráfico da figura 17:

**Figura 21:** Curva de calibração do Ferro no espectrômetro UV-Vis



**Fonte:** (CABRAL, JÚLIO, & FONSCECA, 2011). Adaptada por: O autor

A curva de calibração obtida foi:

$$y = 0,21x - 0,0039$$

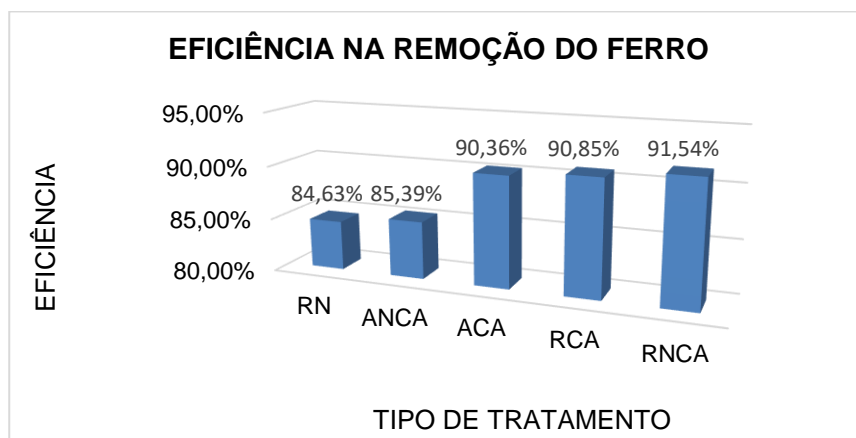
A tabela 4 e a figura 18 apresentam os valores obtidos na remoção do ferro no efluente bruto.

Tabela 5: Análise do Ferro

Análises	Efluente bruto	RCA	RN	RNCA	ANCA	ACA
<b>Ferro (mg/L)</b>	14,31	1,31	2,20	1,21	2,09	1,38

**Fonte:** O autor

**Figura 22:** Gráfico da eficiência de remoção do Ferro



**Fonte:** O autor

De acordo com a tabela 4, foi possível observar que o tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado apresentou uma maior redução, de 14,31 mg/L para 1,21 mg/L, seguido do tratamento em repouso com carvão ativado, que apresentou uma redução de 14,31 mg/L para 1,31 mg/L.

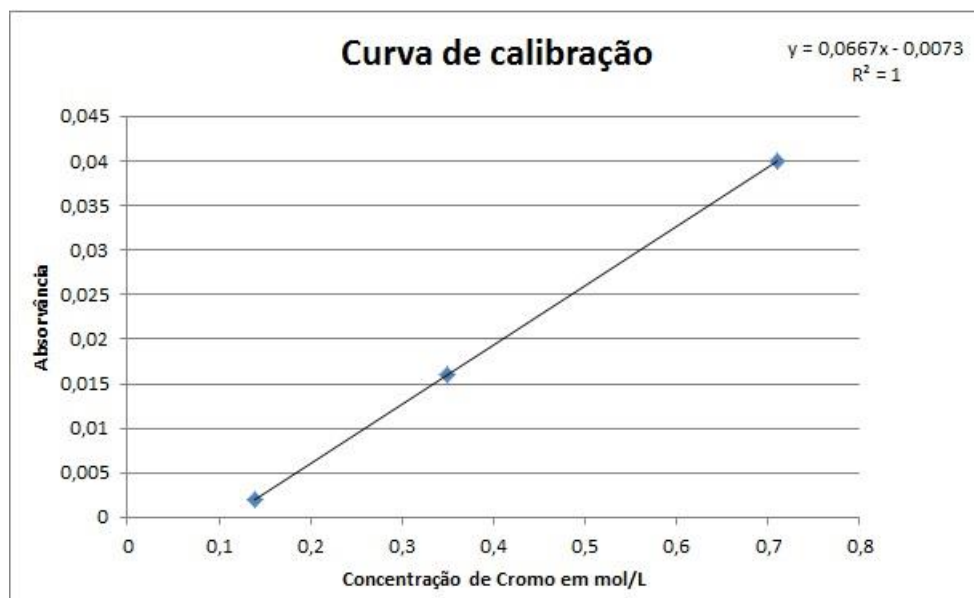
É possível observar no gráfico da figura 18 a eficiência no processo na remoção do ferro. É possível notar uma maior eficiência no tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado, onde apresentou uma eficiência de 91,54%, seguido do tratamento em repouso com carvão ativado, que apresentou uma eficiência de 90,85%.

### ANÁLISE DO CROMO

A determinação do teor de Cromo nos efluentes seguiu a metodologia descrita por (CORRÊA, CHAGAS, & ALMEIDA, 2012) realizada por meio de um espectrofômetro UV-Vis, com o comprimento de onda  $\lambda = 540$  nm.

A curva obtida para determinação do Cromo pode ser observada no gráfico da figura 19:

**Figura 23:** Espectro de absorção UV-Vis do Cromo em diferentes concentrações



**Fonte:** (CORRÊA, CHAGAS, & ALMEIDA, 2012)

A curva de calibração obtida foi:

$$y = 0,0667x - 0,0073$$

A tabela 5 e a figura 20 apresentam os valores obtidos na remoção do cromo no efluente bruto.

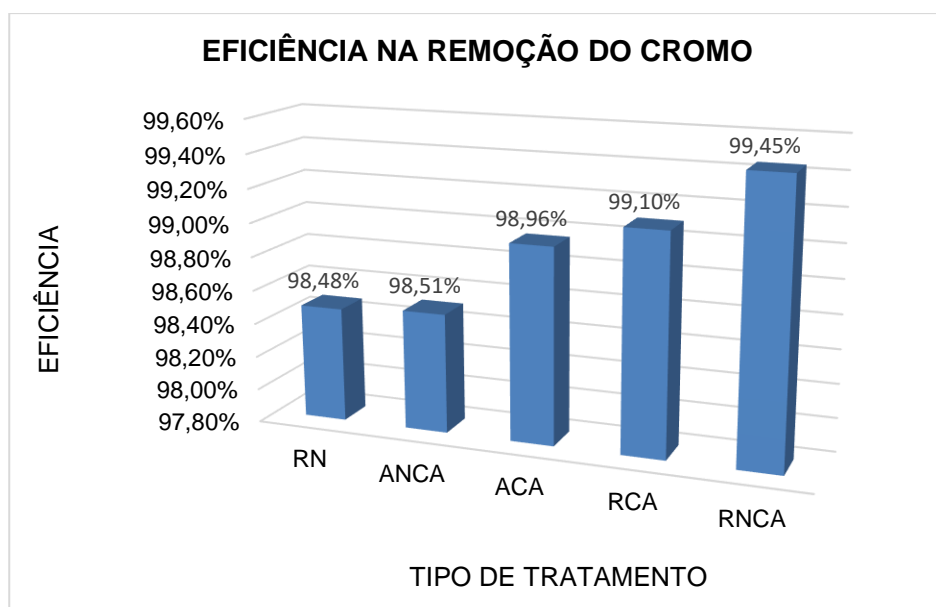
**Tabela 6:** Análise do Cromo

Análises	Efluente bruto	RCA	RN	RNCA	ANCA	ACA
<b>Cromo (mol/L)</b>	448,85	4,06	6,81	2,48	6,68	4,65

**Fonte:** O autor

De acordo com a tabela 5, foi possível observar que o tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado apresentou uma maior redução, de 448,85 mol/L para 2,48 mol/L, seguido do tratamento em repouso com carvão ativado, que apresentou uma redução de 448,85 mol/L para 4,06 mol/L.

**Figura 24:** Gráfico da eficiência de remoção do Cromo



**Fonte:** O autor

É possível observar no gráfico da figura 20 a eficiência do processo na remoção do cromo. É possível notar uma maior eficiência no tratamento em repouso com nanopartículas e carvão ativado, com uma eficiência de 99,45%, seguido do tratamento em repouso com carvão ativado, com uma eficiência de 99,10% no tratamento.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a caracterização do efluente de indústria têxtil, verificou-se por meio das análises dos parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, cromo, cobre e ferro a importância de um tratamento eficiente que possua grande impacto na redução de poluentes nos corpos hídricos.

A técnica de tratamento utilizando nanopartículas magnéticas e carvão ativado mostrou ser uma técnica eficiente na remoção dos parâmetros analisados, tendo como resultado uma eficiência acima de 90% de redução nos parâmetros de turbidez, pH, cromo, cobre e ferro.

O tratamento em repouso utilizando nanopartículas e carvão ativado demonstrou uma maior eficiência na remoção do cromo com um percentual de 99,45%, do cobre com 92,13% e do ferro, com 91,54%.

Entretanto, no tratamento em repouso utilizando nanopartículas e carvão ativado a turbidez não foi tão eficiente comparada a outros tratamentos, apresentando uma eficiência de 95,42%.

De acordo com os resultados obtidos, chegou-se à conclusão de que este tipo de tratamento foi o mais eficaz, no que diz respeito ao tratamento de efluentes com ênfase na remoção dos metais pesados.

O tratamento que demonstrou uma menor eficiência foi em agitação com nanopartículas e carvão ativado e em repouso utilizando apenas nanopartículas magnéticas, porém, ainda recomendável para o tratamento de efluentes industriais têxteis.

Através desse exposto, conclui-se que o tratamento combinado utilizando nanopartículas magnéticas e carvão ativado possui um grande potencial no tratamento de efluentes têxteis industriais.

## REFERÊNCIAS

CANASSA, T., LAMONATO, A., & RIBEIRO, A. (2018). Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. *Journal of Experimental Techniques and Instrumentation*, 8. doi:10.30609/JETI.2018-2.5930

CABRAL, A., JÚLIO, S., & FONSCECA, B. (2011). Determinação do teor em ferro em águas de diferentes proveniências. *Ciência Viva*, 1. Fonte: <https://www.cienciaviva.pt/estagios/jovens/ocjf2011/ceeq/Actividades%20Experimentais/Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20Ferro%20na%20%C3%81gua.pdf>

SANIN, L. (Março de 1997). A indústria têxtil e o meio ambiente. *Química Têxtil - Associação Brasileira de Químicos Coloristas Têxteis*, 13-34.

# Capítulo 07

## ESTIMATIVA DAS PERDAS DE SOLO EM RELAÇÃO AO FATOR TOPOGRÁFICO DA USLE EM SITUAÇÕES NORMAIS

TARCISIO BARCELLOS BELLINASSO  
UFRGS/IPH

VANIA ELISABETE SCHNEIDER  
UCS/ISAM

**RESUMO:** O objetivo principal deste trabalho foi realizar a estimativa das perdas de solo em relação ao fator topográfico LS da USLE em situações normais do declive do terreno, isto é, com declive do comprimento de rampa (L) no formato de declividade média uniforme. Foi obtida a estimativa das perdas de solo utilizando as unidades de mapeamento: São Jerônimo, São Pedro, Passo Fundo e Santo Ângelo todas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul utilizando o método proposto por Wischmeier & Smith (1978) e o método proposto por Bertoni & Lombardi Neto (1959).

**PALAVRAS-CHAVE:** Perdas de solo; fator topográfico; USLE.

**ABSTRACT:** The main objective of this work was to verify the estimate of soil losses in relation to the LS topographic factor of USLE in normal situations of land slope, that is, with slope of the ramp length (L) in uniform mean slope format. The estimate of soil losses was obtained using the mapping units: São Jerônimo, São Pedro, Passo Fundo and Santo Ângelo all located in the State of Rio Grande do Sul, using the method proposed by Wischmeier & Smith (1978) and the method proposed by Bertoni & Lombardi Neto (1959).

**KEYWORDS:** Soil losses; Topographic factor; USLE.

### INTRODUÇÃO

A Equação Universal de Perda de Solo (MUSLE) proposta por Willians (1975) é baseada nos mesmos parâmetros da USLE em relação ao tipo de solo (fator K), cobertura e uso do solo (fator C), uso de práticas conservacionistas ou de controle (fator P) e topografia do relevo, pela declividade e comprimento da vertente (fator LS). A modificação da equação é baseada no fator R, de erosividade da chuva, o qual foi substituído por um fator de escoamento superficial ( $R_w$ ), o qual considera a vazão de pico ( $q_p$ ) e o volume total de escoamento ( $Q_s$ ) envolvido em um evento chuvoso individual, relacionado a uma bacia em específico pelos coeficientes  $a$  e  $b$ , (equação 1):

$$Y = a (Q_s \cdot q_p)^b K LS C P \quad (1)$$

Onde:

Y - produção de sedimento para uma chuva individual, em toneladas;

$Q_s$  - volume de escoamento superficial, em  $m^3$ ;

$q_p$  - vazão de pico do escoamento superficial, em  $m^3/s$ ;  
 $a$  e  $b$  - coeficientes calibrados pela bacia em estudo;  
 $K$ ,  $LS$ ,  $C$ ,  $P$  - fatores da USLE descritos anteriormente.

Uma das principais variações entre as duas equações é o espaço de análise temporal, sendo que a USLE gera uma estimativa anual enquanto a MUSLE estima a produção por evento de chuva isolado. Em função do novo conceito de análise temporal, a escala espacial também é influenciada. A análise de vazão de pico e volume total de chuva é estimada para toda a bacia de drenagem. Além disso, uma vez que a USLE é dimensionada a partir de uma parcela, os parâmetros  $LS$  são diretamente estabelecidos, já na escala de bacia o fator  $LS$  deve ser adaptado.

Conforme descrito por Mallmann *et al* (2019) o fator  $LS$  combina os fatores comprimento da rampa ( $L$ ) e declividade ( $S$ ). A determinação desse fator apresenta limitações em áreas de relevo complexo ou de grandes extensões, o que resulta em estimativas equivocadas das taxas de erosão do solo. Em vista disso, a escolha do método mais adequado deve ser considerada.

Devido a estas dificuldades, o propósito deste trabalho foi verificar a estimativa das perdas de solo em relação ao fator topográfico  $LS$  da USLE em situações normais da declividade do terreno. Também foi realizada a estimativa das perdas de solo utilizando as unidades de mapeamento: São Jerônimo, São Pedro, Passo Fundo e Santo Ângelo todas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul utilizando o método proposto por Wischmeier & Smith (1978) e o método proposto por Bertoni & Lombardi Neto (1959), assim como, foi obtido a declividade máxima de rampa (% de declive) para um erro aceitável menor do que 2%.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Perdas de solo em relação ao fator topográfico ( $LS$ ) em situações normais

Para estimativa das perdas de solo em relação ao fator comprimento de rampa do terreno ( $L$ ) foi utilizada a equação (2) que têm como fundamentação teórica a equação (5) do trabalho de Wischmeier & Smith (1978):

$$A = 5 \cdot \left( \frac{\lambda}{50} \right)^m \quad (2)$$

Onde:

$A$  - é a perda de solo, em toneladas por hectares (t/ha);

$\lambda$  - é o comprimento de rampa do terreno, em metros;  
 $m$  - é 0,3 para declives de 1% a 3%;  
 $m$  - é 0,4 para declives de 3,5% a 4,5%;  
 $m$  - é 0,5 para declives com 5% ou mais de declividade;  
 5 t/ha - supondo que as perdas de solo sobre um declive com 50 metros de comprimento e 5% de declividade é de 5 t/ha; e;  
 50 - é a rampa com 50 metros de comprimento.

Para estimativa da perda de solo em relação ao fator grau do declive do terreno (S) foi utilizada a equação (3), que têm como fundamentação teórica a equação (6) do trabalho de Wischmeier & Smith (1978):

$$A = 7 \left( \frac{i}{5\%} \right)^m \quad (3)$$

Onde:

$A$  - é a perda de solo, em toneladas por hectares (t/ha);  
 $i$  - são os declives de 10, 15, 20, 25 e 30%;  
 $m$  - é 1,5 adotado conforme Wischmeier & Smith (1978) e Hudson (1971);  
 7 t/ha - supondo que as perdas de solo sobre um declive com 5% de declive e 100 metros de comprimento seja de 7 t/ha; e;  
 5% - é o declive de 5% e 100 metros de comprimento.

### Declividade máxima ( $i$ )

A obtenção da declividade máxima (% de declive) foi utilizada como critério um erro aceitável menor do que 2% e utilizado a equação (4):

$$\text{Erro (\%)} = 100 - \left( \frac{\text{sen } \theta}{i} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

$i$  - inclinação da rampa (%); e;  
 $\text{sen } \theta$  - seno do ângulo do declive.

### Perdas de solo em unidades de mapeamento

Para obter as perdas de solo em diferentes unidades de mapeamento foram utilizados o método proposto por Wischmeier & Smith (1978) e o método proposto por Bertoni & Lombardi Neto (1959).

#### 2.3.1 - Método de Wischmeier & Smith (1978)

O fator comprimento de rampa do terreno (L) é expresso pela equação (5):

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,1} \right)^m \quad (5)$$

Onde:

$\lambda$  - é o comprimento de rampa do terreno, em metros;

$m$  - é 0,3 para declives de 1% a 3%;

$m$  - é 0,4 para declives de 3,5% a 4,5%; e;

$m$  - é 0,5 para declives com 5% ou mais de declividade.

O fator grau do declive do terreno (S) é expresso pela equação (6):

$$S = 0,065 + 4,56.\text{sen}\theta + 65,41(\text{sen}\theta)^2 \quad (6)$$

Onde:

$\text{sen } \theta$  - seno do ângulo do declive.

### **Método de Bertoni & Lombardi Neto (1959)**

O fator topográfico (LS) pelo método de Bertoni & Lombardi Neto (1959) é expresso pela equação (7):

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} \cdot (1,36 + 0,975.S + 0,1385.S^2) \quad (7)$$

Onde:

LS - é o fator topográfico, em metros;

L - é o comprimento do declive, em metros; e;

S - é o grau do declive do terreno, em porcentagem (%).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

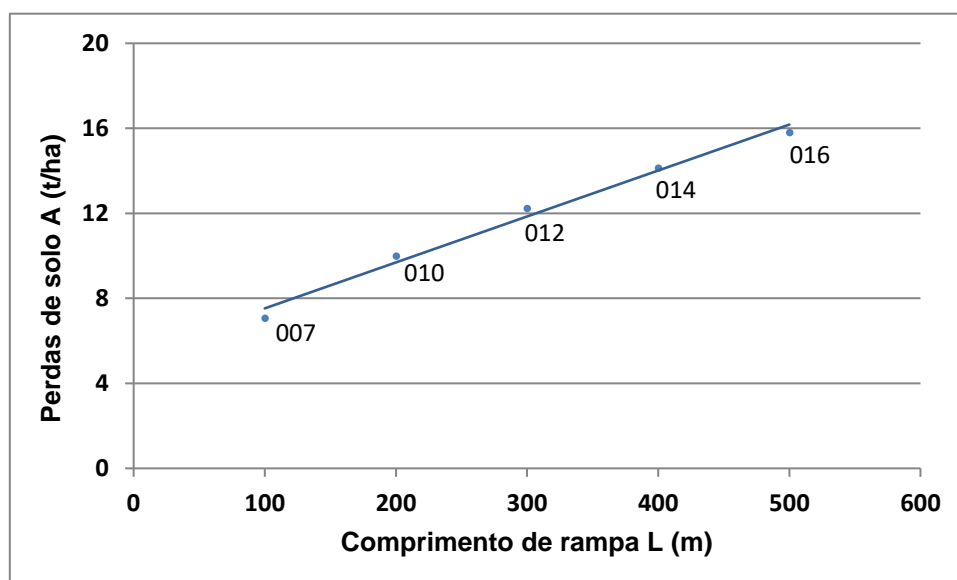
### **Obtenção das perdas de solo pelo fator comprimento do declive do terreno (L)**

Supondo que a perda de solo sobre um declive com 50 metros de comprimento e com 5% de declividade é de 5 t/ha, foi estimado a perda de solo para o mesmo declive de 5%, porém com 100, 200, 300, 400 e 500 metros de comprimento apresentado na Tabela 1 e Figura 1.



**Tabela 1** - Estimativa da perda de solo com declive de 5% e comprimentos de 100, 200, 300, 400 e 500 metros.

Perda de solo (t/ha) Condição: 5% em 50m	Fator do declive do terreno (m)	Comprimento do terreno (λ) (m)	Perda de solo (A) (t/ha)
5,0	0,5	100	7,07
5,0	0,5	200	10,00
5,0	0,5	300	12,24
5,0	0,5	400	14,14
5,0	0,5	500	15,81



**Figura 1** - Relação das perdas de solo (A) x comprimento de rampa do declive do terreno (L).

De acordo com a Figura 1, é verificado que à medida que aumenta o comprimento de rampa há aumento da perda de solo em taxas decrescentes por unidade de área (segmento), isto porque, a perda de solo (A) por unidade de área varia aproximadamente com a potência 0,5 a 0,6 do comprimento de rampa (L), ou seja,  $A \propto L^{0,5 \text{ a } 0,6}$ , conforme estudos realizados por Wischmeier & Smith (1978) e Hudson (1971). Isso significa que, quando o comprimento de rampa é duplicado, a perda de solo por unidade de área é aumentada em torno de uma vez e meia.

No Brasil ainda não foram estabelecidos, em grau suficiente, os tipos de relações existentes entre comprimento de rampa, grau de declive e perda de solo por erosão hídrica. No entanto, como a tendência dessas relações básicas é universal, podem-se adotar, a

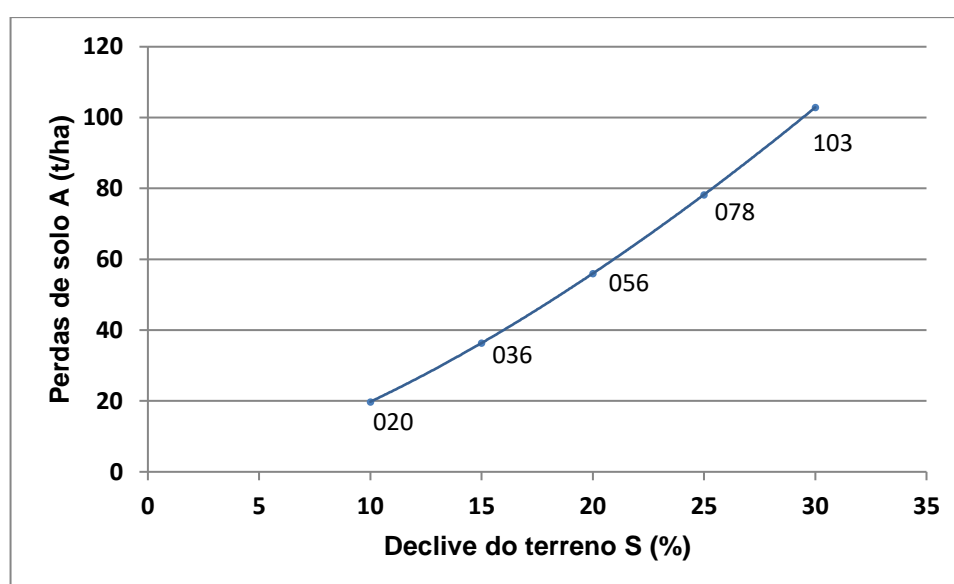
princípio, os mesmos tipos e coeficientes de proporcionalidade já estabelecidos nos Estados Unidos (Wischmeier & Smith, 1978) e Federação Central Africana (Hudson, 1971).

### Obtenção das perdas de solo pelo fator grau do declive do terreno (S)

Supondo que a perda de solo sobre um declive com 5% de declive e 100 metros de comprimento seja de 7 t/ha, foi estimado a perda de solo para declives com 10, 15, 20, 25 e 30% de declividade, sobre o mesmo comprimento de declive (100m) conforme é observado na Tabela 2 e Figura 2.

**Tabela 2** - Estimativa das perdas de solo com declives de 10, 15, 20, 25 e 30% de declividade sobre 100 metros de comprimento.

Perda de solo (t/ha) Condição: 5% em 100m	Fator do declive do terreno (m)	Comprimento do terreno ( $\lambda$ ) (m)	Perda de solo (A) (t/ha)
7,0	10	100	19,79
7,0	15	100	36,37
7,0	20	100	56,00
7,0	25	100	78,26
7,0	30	100	102,87



**Figura 2** - Relação das perdas de solo (A) x Grau de declive do terreno (S).

De acordo com a Figura 2, é verificado que à medida que aumenta o grau de declive há aumento da perda de solo em taxas crescentes por unidade de área (segmento), isto porque, as perdas de solo (A) por unidade de área variam aproximadamente com a potência 1,5 a 2,0 do grau do declive (S), ou seja,  $A \propto S^{1,5 \text{ a } 2,0}$ , conforme estudos realizados por Wischmeier & Smith (1978) e Hudson (1971). Isso significa que, quando o grau de declive é duplicado, as perdas de solo por unidade de área são aumentadas em duas e meia a quatro vezes.

### Obtenção da declividade máxima (i)

A obtenção da declividade máxima de rampa (% de declive) para um erro aceitável menor do que 2%, utilizando a equação (4), comprimento de rampa de 100 metros e com inclinações de 10, 15, 20, 25 e 30% obtido é de 20% com erro aceitável de 1,94%, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Obtenção do erro com comprimento de 100 metros e com inclinações de 10, 15, 20, 25 e 30%.

Ângulo de declive (%)	$\tan^{-1} \theta$	$\text{sen } \theta$	Erro (%)	Situação
10	5,710593137	0,099503719	0,49	Erro aceitável
15	8,53076561	0,148340452	1,10	Erro aceitável
20	11,30993247	0,196116135	1,94	Erro aceitável
25	14,03624347	0,242535625	2,98	Erro não aceitável
30	16,69924423	0,287347885	4,21	Erro não aceitável

### Obtenção das perdas de solo em unidades de mapeamento

#### Método de Wischmeier & Smith

O fator comprimento de rampa (L) e do fator grau do declive do terreno (S) foi obtido através das equações (5) e (6) utilizando o comprimento de rampa de 300 metros e do grau do declive do terreno a declividade da parcela padrão de 9%. A Tabela 4 apresenta a determinação do fator L e do fator S por este método e a Tabela 5 a obtenção da perda de solo para as unidades de mapeamento.

**Tabela 4** - Obtenção do fator L e fator S.

$\lambda$ (m)	m	L (m)	Ângulo (%)	$\tan^{-1} 0,09$ ( $\theta$ )	sen $\theta$	S
300	0,5	3,684	9	5,142764558	0,089637699	1

**Tabela 5** - Estimativa das perdas de solo para diferentes unidades de mapeamento pelo método de Wischmeier & Smith.

Unidades de mapeamento de solo			
São Jerônimo		São Pedro	
Fator R	6397 MJ.mm/ha.h	Fator R	6506 MJ.mm/ha.h
Fator K	0,033	Fator K	0,039
Fator L	3,684 m	Fator L	3,684 m
Fator S	1	Fator S	1
$A = R \times K \times L \times S$	777,16 t/ha/ano	$A = R \times K \times L \times S$	934,75 t/ha/ano
Passo Fundo		Santo Ângelo	
Fator R	7484 MJ.mm/ha.h	Fator R	8773 MJ.mm/ha.h
Fator K	0,020	Fator K	0,009
Fator L	3,684 m	Fator L	3,684 m
Fator S	1	Fator S	1
$A = R \times K \times L \times S$	551,42 t/ha/ano	$A = R \times K \times L \times S$	290,87 t/ha/ano

### Método de Bertoni & Lombardi Neto

Neste método a obtenção foi feita através do fator topográfico (LS), conforme é apresentado na equação (7). O comprimento de rampa (L) e do fator grau do declive do terreno (S) foi utilizado o comprimento de rampa de 300 metros e do grau do declive do terreno, a declividade da parcela padrão de 9%, onde S da equação (7) é o grau do declive em porcentagem (%). A Tabela 6 apresenta a determinação do fator topográfico LS por este método e a Tabela 7 a obtenção da perda de solo para as unidades de mapeamento.

**Tabela 6** - Obtenção do fator topográfico LS.

L (m)	Ângulo (%)	$\tan^{-1} 0,09 (\theta)$	$\text{sen } \theta$	S	LS (m)
300	9	5,142764558	0,089637699	8,9637	3,675

**Tabela 7** - Estimativa das perdas de solo para diferentes unidades de mapeamento pelo método de Bertoni & Lombardi Neto.

Unidades de mapeamento de solo			
São Jerônimo		São Pedro	
Fator R	6397 MJ.mm/ha.h	Fator R	6506 MJ.mm/ha.h
Fator K	0,033	Fator K	0,039
Fator LS	3,675 m	Fator L	3,675 m
$A = R \times K \times L \times S$	775,79 t/ha/ano	$A = R \times K \times L \times S$	932,47 t/ha/ano
Passo Fundo		Santo Ângelo	
Fator R	7484 MJ.mm/ha.h	Fator R	8773 MJ.mm/ha.h
Fator K	0,020	Fator K	0,009
Fator LS	3,675 m	Fator L	3,675 m
$A = R \times K \times L \times S$	550,07 t/ha/ano	$A = R \times K \times L \times S$	290,16 t/ha/ano

### Discussão dos resultados

É verificado na Figura 1 que à medida que aumenta o comprimento de rampa (L) há aumento da perda de solo em taxas decrescentes por unidade de área (segmento: 7,07; 10,0; 12,24; 14,14; 15,81 t/ha), isso ocorre porque, há o aumento da área de incidência de chuva e com isso, o volume de água (massa), conseqüentemente aumenta a perda de solo e este aumento é decrescente porque como o aumento do volume do escoamento, ocorre aumento na altura da lâmina de água, reduzindo assim a desagregação do solo causado pelo impacto da gota da chuva.

Além disso, com a maior espessura da lâmina d'água, ocorre aumento da velocidade do escoamento e aumento na superfície da lâmina d'água, ou seja, na superfície de contato da lâmina d'água com o solo e a velocidade do escoamento permanece constante ou sofre pouca variação.

Outro fato, verificado nas características do aumento da perda de solo decrescente por unidade de área (segmento) em relação ao aumento do comprimento de rampa (L) é que com o aumento da rampa, há também aumento da área e com isso ocorre maior

dissipação de energia, reduzindo assim a capacidade de transporte do escoamento ( $PS \propto L^{0,5}$ ).

É verificado na Figura 2 que há um comportamento linear crescente, por unidade de área (segmento: 19,79; 36,37; 56,0; 78,26; 102,87 t/ha), na da perda de solo ( $A \propto S^{1,5}$ ), ou seja, a perda de solo é diretamente proporcional ao grau do declive do terreno (S).

Nesta situação não há aumento da área, apenas aumento do grau do declive do terreno (S) e o seu comportamento é crescente por unidade de área (segmento), pois, ocorre o aumento da velocidade do escoamento, o aumento do grau de declive e o aumento da energia cinética.

Com o aumento do grau de declive aumenta a perda de solo, com o aumento da velocidade do escoamento a lâmina d'água se torna desprezível, ou seja, o impacto da gota da chuva cai diretamente sobre o solo causando maior desagregação das partículas do solo, diminuindo a infiltração da água no solo e conseqüentemente a maior perda de solo promovido pela maior velocidade do escoamento.

Na obtenção das perdas de solo por unidade de mapeamento pelos métodos de Wischmeier & Smith (1978) e no método de Bertoni & Lombardi Neto (1959), é verificado que os resultados obtidos são praticamente iguais, mas, cuidados devem ser tomados na utilização destes métodos, pois, a intensidade de erosão pela água é grandemente afetada tanto pelo comprimento de rampa e do declive do terreno como pelo seu gradiente, em condições de chuva e solos diferentes.

No método de Bertoni & Lombardi Neto (1959), foram utilizados os dados das determinações de perdas por erosão obtida nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, numa média de dez anos de observações em talhões de diferentes comprimentos de rampa e graus de declive. Bertoni obteve uma equação que permite determinar as perdas médias de solo para os variados graus de declive e comprimentos de rampa (equação 7).

No método de Wischmeier & Smith (1978) foram utilizados dados das determinações de perdas por erosão obtida nos principais tipos de solo nos Estados Unidos, durante quatro décadas, isto é, quarenta anos de observações. A formulação proposta por Wischmeier & Smith (1978) é apresentada nas equações (5) e (6).



## CONCLUSÕES

A estimativa das perdas de solo pelo fator comprimento do declive do terreno (L) conclui-se que à medida que aumenta o comprimento de rampa, há aumento da perda de solo em taxas decrescentes por unidade de área (segmento), isto porque, a perda de solo (A) por unidade de área varia aproximadamente com a potência 0,5 a 0,6 do comprimento de rampa (L), ou seja,  $A \propto L^{0,5 \text{ a } 0,6}$ . Isso significa que, quando o comprimento de rampa é duplicado, a perda de solo por unidade de área é aumentada em torno de uma vez e meia.

A estimativa das perdas de solo pelo fator grau do declive do terreno (S) conclui-se que à medida que aumenta o grau de declive, há aumento da perda de solo em taxas crescentes por unidade de área (segmento), isto porque, as perdas de solo (A) por unidade de área variam aproximadamente com a potência 1,5 a 2,0 do grau do declive (S), ou seja,  $A \propto S^{1,5 \text{ a } 2,0}$ . Isso significa que, quando o grau de declive é duplicado, as perdas de solo por unidade de área são aumentadas em duas e meia a quatro vezes.

A estimativa das perdas de solo pelo método de Wischmeier & Smith (1978) e pelo método de Bertoni & Lombardi Neto (1959) conclui-se que são praticamente iguais. As diferenças encontradas entre os dois métodos são praticamente iguais para fins da avaliação e estimativa da perda de solo, por isso, sugere-se a continuação dos trabalhos de campo, utilizando uma monitoração mais detalhada e intensiva. A utilização dos métodos proposto por Wischmeier & Smith (1978) e Bertoni & Lombardi Neto (1959), para a estimativa das perdas de solo devem ser realizadas com moderação, tendo consciência de seus erros e limitações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1959). *Conservação do solo*. 1. ed. São Paulo: Ícone, 355 p.

HUDSON, N. *Soil Conservation*. (1971). 1<sup>rd</sup> Ed; Cornell University Press: New York.

MALLMANN, E.H; SALVADOR, C.G; MICHEL, G.P. Aplicação da MUSLE considerando diferentes métodos de cálculo do fator topográfico LS. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu/PR. Anais de eventos. Foz do Iguaçu/PR: ABRHidro, 2019.

WILLIAMS, J.R. *Sediment routing for agricultural watersheds*. In: WATER RESOURCES BULLETIN. 1975. Proceedings of the AWRA, Minneápolis, 11 v., nº 5, Oct. 1975. p. 965-974.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537, 62p.

# Capítulo 08

## USO DE *DATALOGGER* BASEADO NA PLATAFORMA ARDUINO PARA O MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

**WILLIAM DE BRITO PANTOJA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**CAIO CASTRO RODRIGUES**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**KATIANE PEREIRA DA SILVA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**OTAVIO ANDRÉ CHASE**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**ANTÔNIO THIAGO MADEIRA BEIRÃO**

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Campus de Parauapebas

**JOSÉ FELIPE DE ALMEIDA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém - PA

**RESUMO:** O monitoramento ambiental é uma ferramenta eficaz para identificar problemas em áreas antropizadas, e o surgimento de novos sensores ciberfísicos contribuem para o avanço tecnológicos na área. Nesse contexto, o artigo traz o desenvolvimento de um dispositivo baseado na plataforma Arduino capaz de fazer o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar em tempo real e com eficiência. Com a relação dessas duas variáveis, será possível calcular o Índice de Calor (IC), Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Temperatura Efetiva (TE) e o Índice de Desconforto Térmico (IDT). O Datalogger desenvolvido é de fácil programação e montagem, e apresentou estabilidade de operação e um bom funcionamento.

**PALAVRA-CHAVE:** Monitoramento ambiental, Datalogger, sistemas ciberfísicos, Temperatura.

**ABSTRACT:** Environmental monitoring is an effective tool to identify problems in anthropic areas, and the emergence of cyber-physical sensors contributes to technological advances in the area. This paper introduces a device based on the Arduino cyber-physical platform to monitor air temperature and relative humidity in real-time with high efficiency. With the relationship between these two environmental variables, it will be possible to calculate the Heat Index (CI), the Temperature and Humidity Index (ITU), the Effective Temperature Index (ET), and the Thermal Discomfort Index (IDT). The Datalogger developed is easily programmable and easy to assemble and presented stable operation and proper functioning.

**KEYWORDS:** Environmental monitoring, DataLogger, cyberphysical systems, Temperature.

### INTRODUÇÃO

O monitoramento de variáveis ambientais exerce um papel importante e eficaz na observação e compreensão de fenômenos que afetam diretamente e indiretamente as

dinâmicas de um determinado espaço físico. Souza e Santos (2018) apresentam em seu estudo que o monitoramento é um mecanismo decisivo nas políticas de controle ambiental por permitir determinar o nível de desequilíbrio, e conseqüentemente, viabilizar o acompanhamento sistemático da qualidade do ambiente de determinada região, fornecendo subsídios para a avaliação e implantação de estratégias de controle. Nesse contexto, o desenvolvimento de novos sensores ciberfísicos, além de contribuir para inovação tecnológica, proporcionariam um avanço científico na área.

Os sistemas ciberfísicos consistem numa rede de elementos que interagem entre o meio físico e as ferramentas computacionais (*hardware* e *software*), trata-se de dispositivos criativos que concebem processos inteligentes para atender um determinado objetivo Seshia (2016) e Silvia (2018). Entretanto, os sistemas mais comercializados para a medição de variáveis ambientais apresentam um grande problema: são equipamentos proprietários, de elevado custo, com código fonte fechado e sem interoperabilidade com equipamentos de outros fabricantes Herlal et al. (2018). O referente estudo direciona-se na aplicabilidade de uma alternativa de dispositivo eletrônico capaz coletar e armazenar dados de ambientes antropizados com eficiência.

Em relação a essa problemática, Muniz-Gäal (2018) enfatiza que, o crescimento populacional é um dos indutores de todo o ciclo de modificações no clima urbano, pois leva ao adensamento e à verticalização das áreas urbanas já dotadas de infraestrutura instalada, o que afeta ainda mais as condições climáticas. Algumas alterações na paisagem natural, como a redução das áreas verdes, a impermeabilização das superfícies urbanas por meio de pavimentação intensiva e a construção de edifícios, podem causar o aumento do calor antropogênico liberado para a atmosfera Fernandes (2020) e Santamouris (2015).

A avaliação do conforto térmico implica na definição de índices cujos resultados se agrupam em classes que buscam traduzir o nível de conforto percebido pelo ser humano, Bracarense (2018). Para obter esses resultados, desenvolveu-se uma estação de coleta de dados ambientais, utilizando a plataforma Arduino. O dispositivo foi programado para realizar a leitura em tempo real da temperatura e umidade relativa do ar, depois de processados os dados são enviados a um *notebook* via porta USB (*Universal Serial Bus*). Relacionando as duas variáveis ambientais, foi possível calcular o Índice de Calor (IC), Índice de Temperatura e Umidade (ITU), Índice de Temperatura Efetiva (TE) e o Índice de Desconforto Térmico (IDT) de um ambiente urbano, localizado no centro do município de Belém - Pará.

## ARQUITETURA DO DATALOGGER

O desenvolvimento experimental desta proposta foi executado na plataforma de código aberto e de baixo custo mais conhecida no mercado, o Arduino, que consiste em um *hardware* para a construção e programação de circuitos eletrônicos, de forma rápida, associados à uma IDE (*Integrated Development Environment*) de código aberto. O Arduino possui um microcontrolador da família AVR 328P, de grande confiabilidade, que pode atingir uma velocidade de 20MHz, 8 bits e 32 kB de memória *flash*, além de 1 kB de memória EEPROM, 2 kB de RAM, que conta ainda com conversor analógico digital interno de 10 bits Rocha (2019) e Banzi (2012).

O sensor utilizado nesse trabalho para a coleta de dados foi o BME280 da *Bosch Sensortec*, este sensor possibilita a medição de três variáveis simultaneamente: temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. Porém para alcançar o objetivo desse trabalho foi necessário apenas armazenamento dos dados de temperatura e umidade relativa do ar. O BME280 possui uma faixa entre  $-40^{\circ}\text{C}$  e  $85^{\circ}\text{C}$  para temperatura e entre 0% e 100% para umidade, os valores medidos são fornecidos pelo sensor através de um barramento serial utilizando o protocolo I2C (*Inter-Integrated Circuit*).

### Montagem do Hardware

O circuito eletrônico foi projetado a partir da placa de aquisição Arduino, em seguida o sensor BME280 foi acoplado no barramento i2C através de fios elétricos. A tensão e corrente disponível no circuito foi fornecida pela porta serial USB (*Universal Serial Bus*) de um *notebook*, onde foi possível salvar os dados em arquivo Excel para análises posteriores. A Figura 1 apresenta a ilustração do circuito eletrônico e seus componentes.

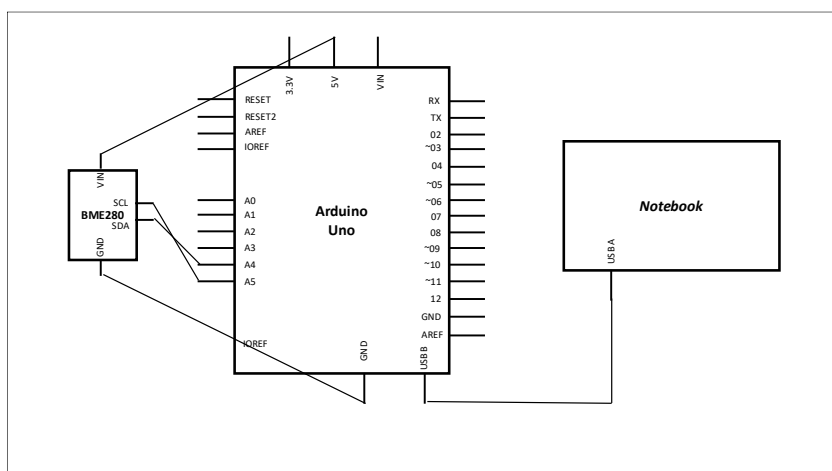


Figura 1 - Esquema do circuito eletrônico.

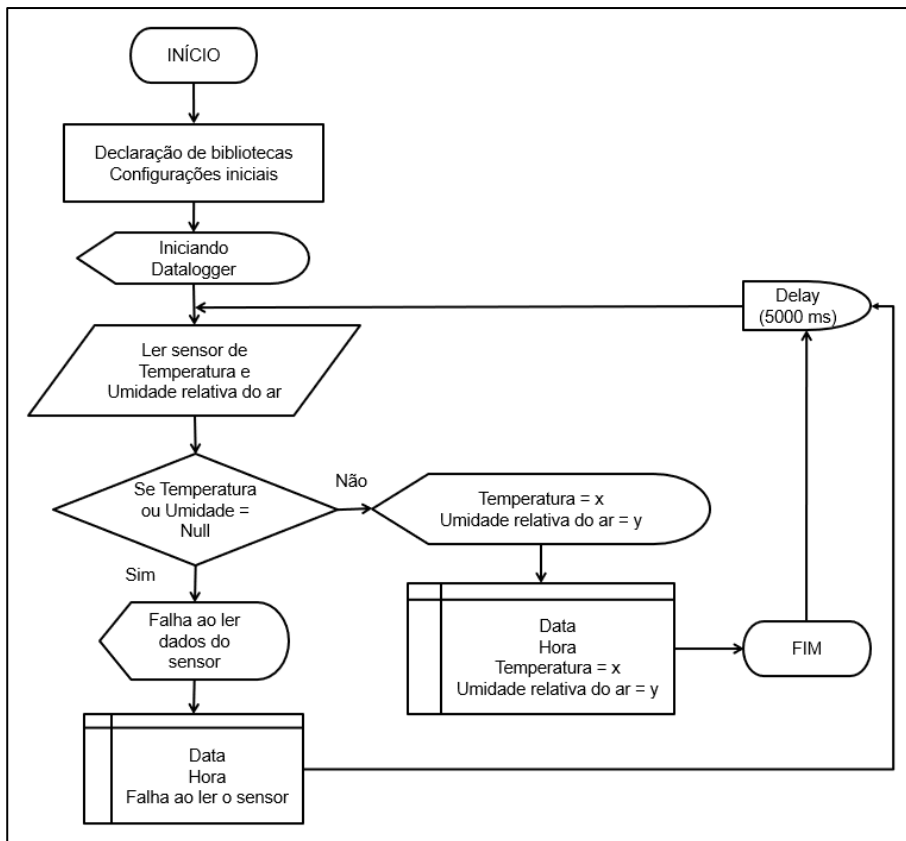
De acordo com as normas da OMM (Organização Meteorológica Mundial), o sensor meteorológico deve ser protegido da luz solar direta e da possibilidade de ventilação e dissipação de calor, de forma que os valores obtidos representem de forma mais real as condições do ambiente local. Depois da montagem do sistema, utilizamos um recipiente de plástico com tampa, onde foi afixado o BME280. A Figura 2 apresenta o acondicionamento do *hardware*.



**Figura 2** - Sistema em seu recipiente de acondicionamento

### **Implementação do algoritmo de tratamento de dados e funcionamento**

A lógica operacional do sistema foi desenvolvida na linguagem nativa do microcontrolador utilizado, baseado na linguagem "C / C ++". O ambiente de programação utilizado foi a IDE do Arduino. O algoritmo controla todos os processos relacionados à coleta e envio de dados para o armazenamento no *notebook* utilizado. A Figura 3 contém o fluxograma de programação desenvolvido e embarcado na placa.



**Figura 3** - Fluxograma da programação embarcada na placa.

### COLETA DE DADOS *IN LOCO*

Este estudo foi desenvolvido na região amazônica, no município de Belém (1°27'21" S e 48°30'14" W), capital do Estado do Pará. Belém é conhecida como a “cidade das mangueiras”, por ter algumas avenidas e praças arborizadas com a espécie *Mangifera indica*. Contudo, nas últimas décadas, o município vem apresentando um rápido crescimento urbano, transformando bruscamente sua paisagem original. A cidade possui área de 1.059,466 km<sup>2</sup> e população de 1.499.641 habitantes (IBGE, 2020).

As medições foram realizadas em uma vila residencial com pouca arborização urbana, o local foi escolhido por se tratar de uma área antropizada e alta densidade demográfica. A vila fica situada no bairro da Cremação, no município de Belém, mais precisamente nas coordenadas geográficas Latitude: 1°27'42.36" S, Longitude: 48°28'46.99" W, referenciadas no datum WGS84. A Figura 4 mostra o local do ponto de coleta.



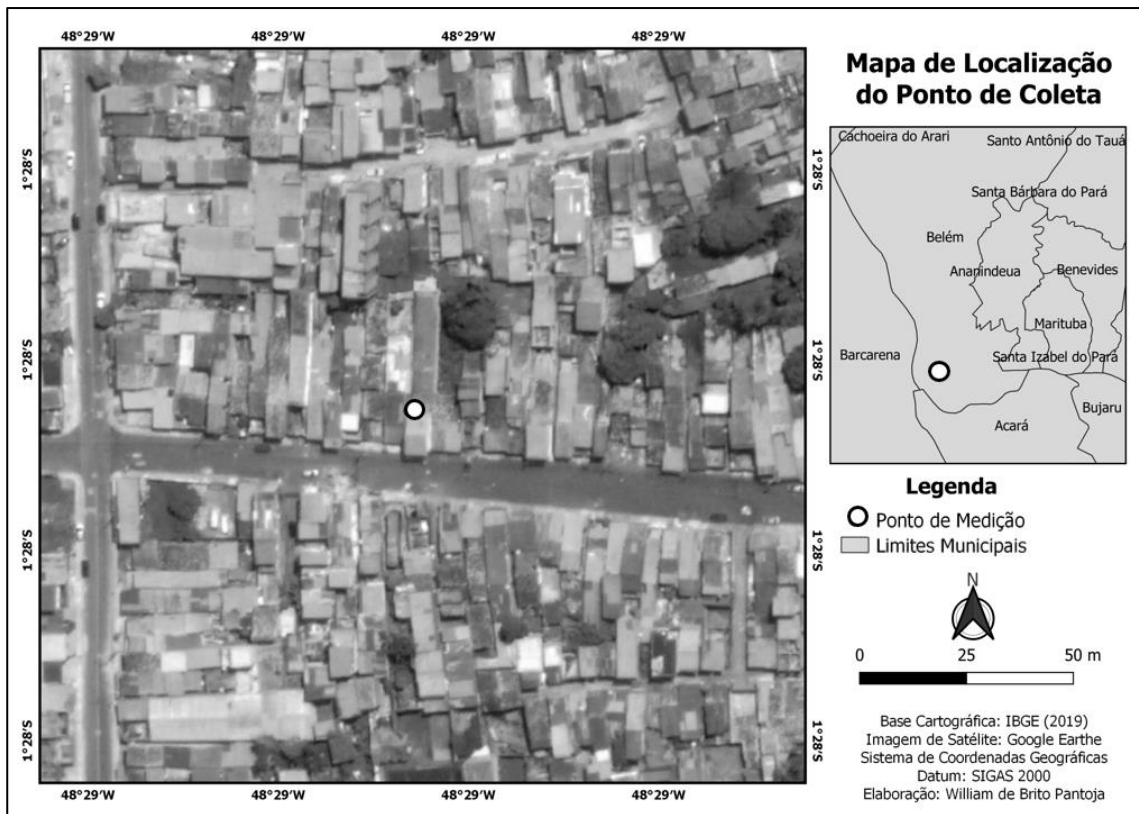


Figura 4 - Mapa de localização do ponto de coleta.

## ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

Neste estudo, foram desenvolvidos cálculos para quatro diferentes metodologias de avaliação do conforto térmico e cada metodologia utiliza combinações de variáveis que tornam esses índices únicos.

### Índice de Calor (IC)

O índice de calor utilizado, foi adaptado com base nos trabalhos de Steadman (1979). O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para determinados valores de temperatura e umidade relativa do ar, quando em situações que as temperaturas estão elevadas, com indivíduo à sombra e em condições de vento fraco Junior et al. (2013).

A formulação do IC é dada através da Equação 01. Os níveis de alerta e suas consequências à saúde humana estão ilustradas na Tabela 1, que foi elaborada pela NOAA (*National Weather Service Eather Forecast Office*). Adaptado por Nóbrega (2011).

$$IC = \frac{5}{9} \left( (c_1 + c_2 T + c_3 U + c_4 TU + c_5 T^2 + c_6 U^2) + c_7 T^2 U + c_8 TU^2 + c_9 T^2 U^2 \right) - 32 \quad (\text{Eq.01})$$

Onde: IC = índice de calor (°C); T = temperatura (°F); U = umidade relativa do ar (%);

$c_1 = - 42,379$ ;  $c_2 = 2,04901523$ ;  $c_3 = 10,14333127$ ;  $c_4 = - 0,22475541$ ;  $c_5 = - 6,83783 \times 10^{-3}$ ;  $c_6 = - 5,481717 \times 10^{-2}$ ;  $c_7 = 1,22874 \times 10^{-3}$ ;  $c_8 = 8,5282 \times 10^{-4}$ ; e  $c_8 = - 1,99 \times 10^{-6}$ .

**Tabela 1** - Níveis de alerta e suas consequências à saúde humana do IC.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	54,0°C ou mais	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1°C – 54,0°C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C – 41,0°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C – 32,0°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas.
Não há alerta	Menor que 27,0°C	Não há problemas.

### Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade é indicado para medições em ambientes abertos que permitem quantificar o “stress” térmico no ambiente urbano. O cálculo para os valores ITU é dado pela Equação 02. Os níveis de conforto para os resultados do ITU são apresentados na Tabela 2 (NÓBREGA; LEMOS, 2011).

$$ITU = 0,8 * T + \frac{U * T}{500} \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde: ITU = índice de temperatura e umidade (°C); T = temperatura (°C); e U = umidade relativa do ar (%).

**Tabela 2** - Critérios de classificação do ITU.

Nível de Conforto	ITU
Confortável	21°C < ITU < 24°C
Levemente desconfortável	24°C < ITU < 26°C
Extremamente desconfortável	ITU > 26°C

### Índice de Desconforto Térmico (IDT)

Determinado por Thom (1959), o cálculo do índice de desconforto térmico é dado pela função da temperatura e umidade relativa do ar. A fórmula é representada pela

Equação 03. Na Tabela 3 estão representados os níveis do IDT (SANTOS et al., 2012).

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 * U) * (T - 14,5) \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde: IDT = índice de desconforto térmico (°C); T = temperatura (°C); e U = umidade Relativa do ar (%).

**Tabela 3.** Nível de Desconforto Térmico em função do IDT.

Nível de Desconforto Térmico	IDT
Desconfortável	IDT < 14,9°C
Confortável	15°C – 19,9°C
Conforto Parcial	20°C – 26,4°C
Desconfortável	IDT > 26,5°C

### Índice de Temperatura Efetiva (TE)

O índice de temperatura efetiva de Thom (1959), é calculado a partir da Equação 04. Os resultados obtidos foram interpretados de acordo com a Tabela 4 de classificação de temperatura efetiva (LUCENA et al., 2020 *apud* SUPING et al., 1992).

$$TE = T - 0,4 * (T - 10) * \left(1 - \frac{U}{100}\right) \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde: TE = índice de temperatura efetiva (°C); T = temperatura (°C); e U = umidade relativa do ar (%).

**Tabela 4.** Valores de temperatura efetiva e as respectivas descrições.

Descrição da sensação humana	TE
Muito quente	TE > 30°C
Moderadamente quente	24°C < TE < 29,9°C
Agradável	12°C < TE < 23,9°C
Fresco	6°C < TE < 11,9°C
Muito fresco	0°C < TE < 5,9°C
Frio	-12°C < TE < -0,1°C
Muito frio	-24°C < TE < -12,1°C
Perigo de congelamento (início)	-30°C < TE < -24,1°C
Perigo de congelamento (aumento)	TE < -30°C

## RESULTADOS

O *Datalogger* desenvolvido foi levado a campo no dia 8 de março de 2020, no horário das 11:00 h às 14:00 h (o tempo estava parcialmente nublado durante esse intervalo), com o objetivo de se obter as medições de temperatura e umidade relativa do ar *in loco*. O sistema estava programado para realizar as coletas com uma frequência de 5000 milissegundos, com esse intervalo conseguimos realizar 2160 medições de forma automática.

Os resultados da pesquisa mostraram que para um ambiente urbano, os valores da umidade relativa do ar, obtiveram em média aproximadamente 87,40% com uma máxima de 95,87% e mínima de 83,17%. Já a média da temperatura, foi de 29,72°C com desvio padrão de  $\pm 0,17$ . Chase et al. (2016) indicam que estas medições podem ser empregadas ao monitoramento de “conforto térmico”, expondo que, após se identificar o comportamento climático de uma determinada região, é possível mensurar as medidas necessárias para o bem-estar e sobrevivência humana e animal através dos dados obtidos pela plataforma de monitoramento das variáveis ambientais.

A Tabela 5 apresenta um resumo das condições térmicas e dos resultados obtidos após os cálculos dos índices de conforto térmico, que foram baseados nas médias da temperatura e umidade relativa do ar coletadas *in loco*. Os resultados demonstram que, para os mesmos dados de temperatura e umidade, foram obtidas classificações distintas de conforto térmico para cada índice. Entretanto, é possível observar que todos os índices forneceram classificações próximas entre si.

**Tabela 5** - Resultados dos cálculos dos índices de conforto térmico

Índices de conforto térmico	Temperaturas	Classificação
Índice de Calor (IC)	38,89°C	Cautela Extrema
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	28,97°C	Extremamente desconfortável
Índice de Desconforto Térmico (IDT)	28,66°C	Desconfortável
Índice de Temperatura Efetiva (TE)	28,73°C	Moderadamente quente

As quatro metodologias estudadas para análise de conforto térmico, resultaram em classificações que variaram de “Desconfortável” à “Cautela extrema”. Esses resultados podem ter relação com as alterações na paisagem provocada pelo desenvolvimento

urbano, como a pavimentação, um dos responsáveis pela transmissão do calor para o ar, elevando a temperatura e causando o desconforto térmico (BARBOZA, 2020).

Importante enfatizar que o protótipo desenvolvido apresenta resultados satisfatórios em relação ao monitoramento ambiental, pois o mesmo possui um erro de precisão calculado pelo fabricante do sensor consideravelmente baixo, tendo para a temperatura a precisão de 0,01°C e para umidade relativa do ar de 0,008%.

Vale ressaltar o estudo de Lucena et al. (2020), ao informar que, analisar os fatores de índice de conforto é uma tarefa complexa, pois além dos fatores físicos, envolve uma gama de fatores pessoais que tornam sua definição bastante subjetiva. Por isso é importante compreender as limitações de cada índice e as suas diferenças metodológicas, para assim determinar aquele mais representativo para uma dada localidade.

## **CONCLUSÃO**

As análises demonstraram que, além dos índices apresentarem a influência dos parâmetros urbanos no conforto do usuário, também reforçam a ideia de se usar esses parâmetros para a classificação de áreas, validando assim o uso dos índices como ferramentas para compreensão das variações dos níveis do conforto térmico em ambientes urbanos. É recomendado que em estudos futuros analisem o conforto térmico de forma mais sistemática.

O estudo também mostrou que os sistemas de monitoramento baseados na plataforma Arduino pode ser uma boa escolha para a medição de temperatura e umidade relativa do ar, já que o sistema apresentou uma boa estabilidade de operação e um bom funcionamento em campo, atendendo até o momento as expectativas do trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica (PROIC) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio e suporte no desenvolvimento da pesquisa e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## **REFERÊNCIAS**

- Barboza, E. N., Alencar, G. S. S., Alencar, F. H. H. (2020) "Influência do asfaltamento nas variáveis de conforto térmico em ruas de Missão Velha – CE", Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 1, p.599-607.
- Bracarense, L. S. F. P., La Cruz, B. C. B., Monteiro, A. J. F., Santos, A. P. F., Venâncio, S. L. A., Pereira, E. C. (2018) "Índices de conforto térmico: limitações e variações de

classificação”, *Cidades e Territórios - Desenvolvimento, atratividade e novos desafios Coimbra – Portugal*.

Chase, O. A., Carvalho, A., Andrade, E. S. S., Almeida, J. F. S., Junior, C. T. C. (2016) “Environmental Technology Platform Architecture For In Situ Monitoring the Thermal Comfort”, In: *Rural Environments. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*.

Fernandes, M. E., Masiero, E. (2020) “Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais”, *urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana*.

Helal, A. A., Júnior, R. C., Garcia, F. C., Barroso, G. F., Villaça, R. S. (2018) “Proposta de solução integrada de Hardware, Software e Internet das Coisas para monitoramento ambiental” *EstAcqua*.

IBGE. (2021) “População estimada: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 01/07/2020”, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>, Janeiro.

Júnior, J. A. S., Costa, A. C. L., Pezzuti, J. C. B., Costa, R. F. (2013) “Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA”, *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.28 n.4 São Paulo.

Lee, E. A., Seshia, S. A. (2016) “Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach”, MIT Press.

Lucena, R. L., Cabral Júnior, J. B., Steinke, E. T. (2020) “Índices de (des)conforto humano em um município de clima semiárido”, *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.07, 3287-3303.

Muniz-Gaal, L. P., Pezzuto, C. C., Carvalho, M. F. H. De, Mota, L. T. M. (2018) “Parâmetros urbanísticos e o conforto térmico de cânions urbanos: o exemplo de Campinas, SP”, *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 18, n. 2, p. 177-196.

NOAA. (2021) “National Oceanic Atmospheric Administration. State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020”, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>. Janeiro.

Nobrega, R. S., Lemos, T. V. S. (2011) “O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife”, *Revista de Geografia (UFPE)*, v. 28, n 1, p. 93-109.

OMM. (2008) “Guindace to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Organização Meteorológica Mundial” n. 8, 7<sup>th</sup>, Geneva.

Rocha, L. A. G., Silva, B. A. R., Costa, D. I. (2019) “Comparação de desempenho de sensores de baixo custo com sensores comerciais para a coleta de dados ambientais”, *Fórrum Ambiental da Alta Paulista*, v. 15, n. 04.

Santamouris, M. (2015) “Regulating the damaged thermostat of the cities - Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Building*, v. 91, p. 43-56.

Santos, J. S. et al. (2012) “Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida”, *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife*, v. 03, p. 540-557.

Silvia, F. (2018) “Novos desafios em SI: A crescente importância dos processos ciberfísicos”, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, Lousada, 30<sup>th</sup>.

Souza, A., Santos, D. A. S. (2018) “Análise das componentes principais no processo de monitoramento ambiental”, *Pesquisas Agrárias e Ambientais, Nativa, Sinop*, v. 6, n. 6, p. 639-647.

Steadman, R. G. (1979) "The Assessment of Sultriness. Part I: A TemperatureHumidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science", Journal of Applied Meteorology, v. 18, n. 7, p. 861-873.

Thom, E.C. (1959) The discomfort index. Weatherwise, Boston, v.12, n.1, p. 57-60.



# Capítulo 09

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL EMBARCADO PARA MONITORAMENTO DE CO<sub>2</sub> IN SITU\*

**CAIO CASTRO RODRIGUES**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**WILLIAM DE BRITO PANTOJA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**OTAVIO ANDRÉ CHASE**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**ANTÔNIO THIAGO MADEIRA BEIRÃO**

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Campus de Parauapebas

**JOSÉ FELIPE DE ALMEIDA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**KATIANE PEREIRA DA SILVA**

ICIBE – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Belém – PA

**RESUMO:** Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema capaz de medir CO<sub>2</sub> de forma autônoma in situ, baseado no uso da plataforma NodeMCU e do sensor MH-z19. Um App em tecnologia Blynk foi desenvolvido para exibir os dados de concentrações de CO<sub>2</sub> em ppm com pontos de coletas georreferenciados, essas informações foram guardadas em um digital cloud. Foi realizado um experimento para determinar a concentração de CO<sub>2</sub> em ruas movimentadas de Belém – PA, os resultados apresentaram a Av. Almirante Barroso como a via com maiores níveis de dióxido de carbono.

**PALAVRA-CHAVE:** Microcontrolador, Concentração de CO<sub>2</sub>, Digital Cloud, App.

**ABSTRACT:** This article 114arbono114n the development of a system capable of measuring CO<sub>2</sub> autonomously in situ, based on the use of the NodeMCU platform and the MH-z19 sensor. Na application in Blynk technology was developed to display the CO<sub>2</sub> application data in ppm with georeferenced collection points, this information was saved in a digital cloud. Na 114arbono114nte was carried out to determine the CO<sub>2</sub> concentration in busy streets in Belém – PA, the results obtained at Avenue Almirante Barroso as the road with the highest levels of 114arbono dioxide.

**KEYWORDS:** Microcontroller, CO<sub>2</sub> concentration, Digital Cloud, App.

### INTRODUÇÃO

O Brasil é o 7º maior emissor de gases do efeito estufa (GEE) do mundo, produzindo cerca de 2,9% do total mundial, somente em 2019 houve alta de 9,6% nas emissões

---

\* Trabalho apresentado no evento: 12º Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais (WCAMA) 2021. XLI Congresso da Sociedade Brasileira da Computação 2021.

internas do país. As emissões brasileiras não indicam tendência de queda, com períodos de altas e baixas associados a recessão econômica e principalmente ao desmatamento e queimadas, conforme explana o relatório do Observatório do Clima (2020).

Nesse contexto, o desequilíbrio ambiental relacionado aos GEE vem sendo motivo de diversas discussões, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) representa a parcela de contribuição mais importante para o aumento do efeito estufa no planeta Terra. O CO<sub>2</sub> funciona como um regulador térmico e da vida no planeta, no entanto, altas concentrações alteram as propriedades físicas e químicas do ar, com consequências nas dinâmicas atmosféricas e da vida no planeta, Seinfeld e Pandis, (1998).

O ano de 2020 foi avaliado pelos cientistas do NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*) como o segundo ano mais quente da série histórica contabilizado a partir de 1880. Ademais, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) informou que o ano de 2020 superou todos os resultados anteriores de sua série histórica com uma diferença muito pequena para o ano de 2016, portanto foi considerado um empate técnico. Todavia a NASA enfatiza que embora haja variações nos resultados entre as agências de pesquisas do clima, todos apresentam similaridade entre picos e vales e indicando aquecimento acelerado nas últimas décadas NOAA (2021) e NASA (2021).

Um dos objetivos do desenvolvimento sustentável para a redução das emissões de poluentes atmosféricos e conseqüentemente a redução de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), é tornando o transporte público mais eficiente, seguro, sustentável e acessível, possibilitando a redução da frota de veículos particulares, ONU (2015). A frota de veículos terrestre é responsável por grande parcela da emissão de GEE e de outros poluentes atmosféricos em grandes centros urbanos, causando impactos ambientais e na saúde pública. Somente na cidade de Belém – PA há uma frota de 483.435 veículos terrestres, resultando em aproximadamente 0,32 veículo por habitante, conforme dados do DENATRAN (2020) e IBGE (2020).

Dessa forma, o estudo propõe o desenvolvimento de um sistema computacional embarcado capaz de realizar medições de CO<sub>2</sub> em ruas com alto tráfego de veículos, baseado na plataforma *NodeMCU* que utiliza o *ESP8266* como placa de aquisição e processamento, programado na linguagem C Arduino. Utilizando o sensor de dióxido de carbono MH-z19 através do método de absorção de radiação infravermelho em um comprimento de onda selecionado para determinação da concentração de CO<sub>2</sub> *in situ* na unidade ppm (partes por milhão).

Os dados processados pelo *NodeMCU* são enviados pela rede de internet via *Wi-Fi* para um *digital cloud* integrado a um *App* desenvolvido na plataforma *Blynk*, todos os dados

são georreferenciados no datum WGS 84. Dessa forma, o sistema proposto possibilita estudos pontuais sobre a dinâmica do elemento observado em ruas com alto tráfego de veículos na cidade de Belém – PA.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na cidade de Belém ( Lat. -1.45502; Long. -48.5024), capital do estado do Pará, região compreendida pelo bioma Amazônia. Conforme classificação de Köppen, a cidade é considerada do tipo *Af*, apresentando clima tropical chuvoso de floresta e bastante úmido, Moreira et al. (2017).

Com a finalidade de obtenção de resultados no monitoramento de CO<sub>2</sub> *in situ*, o desenvolvimento metodológico deste trabalho ocorreu em duas etapas: Desenvolvimento do *Hardware*; Desenvolvimento do *Software* e do *App*, para monitoramento e gerenciamento dos dados obtidos.

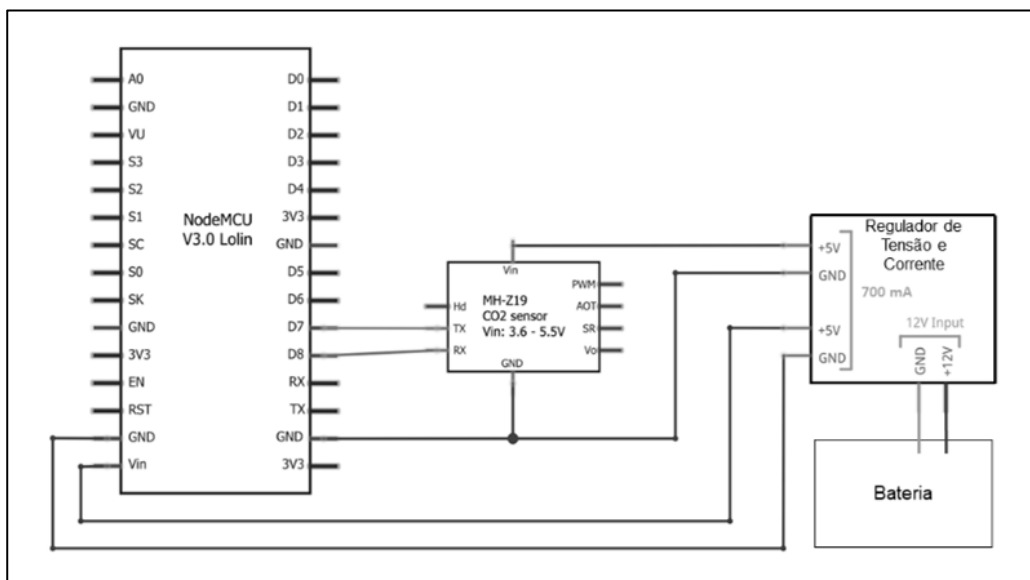
### Desenvolvimento do Hardware

Para realizar a aquisição de dados utilizou-se o sensor MH-z19, este sensor possui todas as características necessárias para medição de CO<sub>2</sub> mencionadas por Paulino (2017), que são: amplitude em partes por milhão, alta precisão ( $\pm 5\%$ ), fácil empregabilidade e tempo de vida maior que 3 anos, além de apresentar baixo custo (U\$ 30,00) em relação a sistemas proprietários e comerciais.

Este sensor funciona a partir de radiação infravermelho (IR) não dispersiva e possui sistema que compensa a leitura do sensor de acordo com a temperatura do ambiente. Conforme Leite (2010) este método de medição do gás é bastante eficiente devido as características físicas e químicas intrínsecas do gás analisado, pois permite absorção de IR em comprimentos de ondas conhecidos e a partir dessa absorção, é possível determinar a concentração do gás no ambiente.

O sinal emitido pelo sensor contendo os dados de concentração de CO<sub>2</sub> e a temperatura do ar medido pelo próprio MH-z19 na câmara de análise é obtido através de comunicação UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) pelo microcontrolador *NodeMCU*, sua programação foi desenvolvida em linguagem C na IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino onde é possível realizar o processamento e análises de confiabilidade da comunicação com o sensor. Após o processamento dos dados o

programa retorna concentração do CO<sub>2</sub> no ambiente em ppm e a temperatura do ar em °C. A Figura 1 apresenta o esquemático do circuito elétrico do sistema proposto.

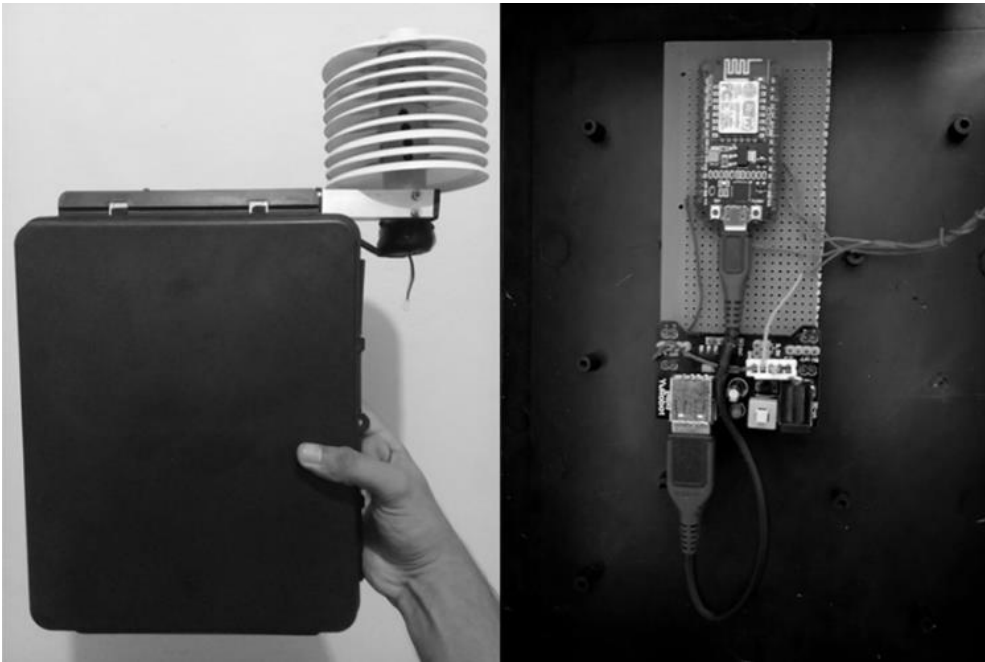


**Figura 1.** Esquemático elétrico do sistema de CO<sub>2</sub>.

Um regulador de tensão e corrente do modelo MB102 (2,5 U\$), com tensão de saída de 5 e 3.3 V e corrente máxima de 700 mA foi utilizado para a adequação do fornecimento de energia, necessário para o bom funcionamento do protótipo. O fornecimento de energia ao regulador foi através de uma bateria 12 V com corrente nominal de até 5 Ah, modelo MA5-D (25,00 U\$).

Os equipamentos mencionados foram interligados entre si utilizando fios elétricos, acoplados sob uma placa ilhada de fenolite 6x10 cm (2,00 U\$). Os dispositivos foram conectados e soldados na placa de fenolite, dessa forma, o sistema eletrônico foi acoplado em uma caixa hermética (3,00 U\$) juntamente com um abrigo meteorológico (1,00 U\$) para proteger o sensor de CO<sub>2</sub> da incidência direta das radiações solares.

Com o circuito eletrônico montado e acondicionado (custo total de 63,50 U\$), foi possível desenvolver a programação embarcada no microcontrolador, e o *App* para acompanhamento e registro online do funcionamento do sistema de medição de temperatura, dióxido de carbono e coordenadas GPS. Na Figura 2 podemos observar o protótipo proposto.



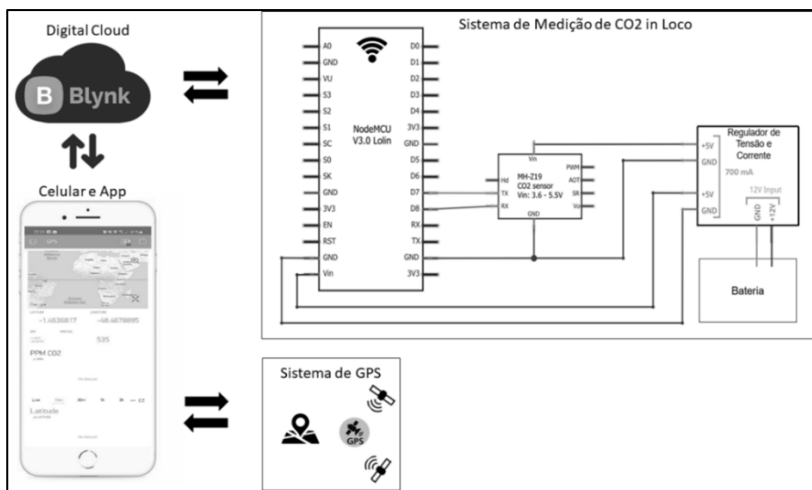
**Figura 2.** Protótipo acoplado a caixa hermética com abrigo meteorológico.

## **Desenvolvimento Software e do App**

Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento IDE Arduino para o desenvolvimento lógico, essa plataforma auxilia no desenvolvimento de programas baseados na linguagem computacional C. O programa desenvolvido processa os dados do sensor MH-z19 através da comunicação serial com o microcontrolador *NodeMCU*, que por sua vez conecta-se à rede de internet via *Wi-Fi*, processa, e envia as concentrações de CO<sub>2</sub> a um *digital cloud* (*Blynk Cloud*) que dispõe os dados digitalmente em um *App* desenvolvido na tecnologia *Blynk*, podendo ser utilizado em plataformas operacionais *Android* e *iOS*.

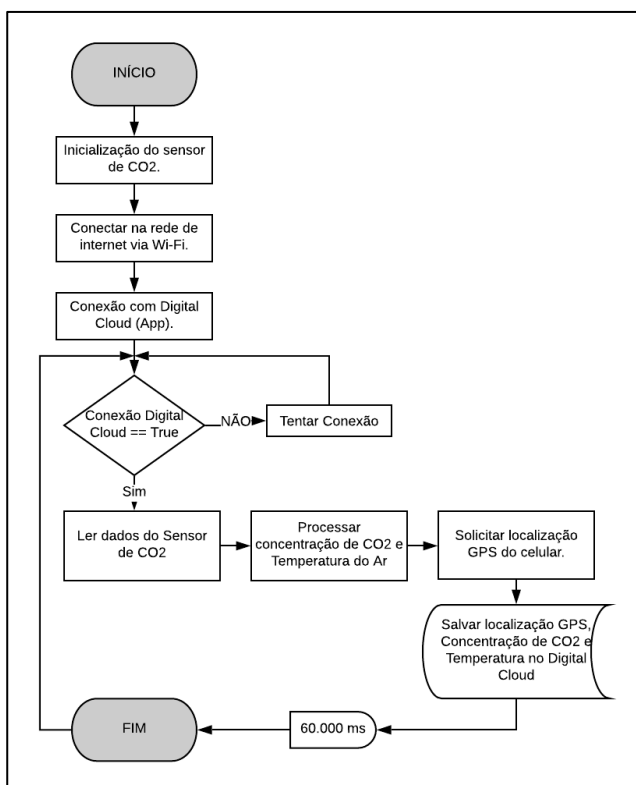
No dispositivo móvel onde o *App* funciona, é realizado a conexão com o sistema de GPS (*Global System Position*) do próprio celular através da ferramenta *Maps* da Google®, a fim de salvar os dados de CO<sub>2</sub> e temperatura junto com as coordenadas geográficas no próprio *App*. Dessa forma, é importante que o sensor e o celular estejam próximos.

Após a montagem e configuração do protótipo foi possível realizar o experimento de medição de CO<sub>2</sub> *in situ*, que será apresentado na seção seguinte. A Figura 3 apresenta uma visão geral do sistema de medição de CO<sub>2</sub> *in situ*.



**Figura 3.** Visão geral do sistema de medição de CO2.

A Figura 4 apresentam o fluxograma contendo os processos realizados pelo microcontrolador *NodeMCU*.



**Figura 4.** Fluxograma do programa embarcado no NodeMCU.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um experimento foi conduzido a fim de se obter resultados práticos sobre a concentração de CO<sub>2</sub> em ambiente urbano *in situ*. As medições foram realizadas dentro de

um ônibus com itinerário iniciando na estação rodoviária da UFPA (Universidade Federal do Pará) localizada no bairro do Guamá e terminando no bairro Campina de Icoaraci.

Dentro do ônibus o dispositivo desenvolvido foi acomodado próximo a uma janela aberta, a uma altura do solo de aproximadamente 2,10 m, de forma a representar o usuário do transporte público. O programa embarcado foi configurado para conectar-se ao *Wi-Fi* roteado de um celular com conexão internet, as coordenadas de GPS foram coletadas do mesmo dispositivo móvel utilizado.

Foram realizadas 78 medições de concentração de dióxido de carbono ambiente de forma automática, em pontos diferentes, o experimento iniciou às 10:27 h e teve seu término às 11:36 h, configurado com frequência de amostragem de um minuto. A temperatura média foi de 30,04° C com tempo nublado durante todo o trajeto realizado no dia 20 de fevereiro de 2021.

Nessa época do ano a Região Metropolitana de Belém passa por um período chuvoso, apresentando altas taxas de precipitação principalmente por conta da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e de circulações de brisas, conforme mencionam Sousa e Neu, (2021).

Os dados de localização geográfica foram registrados com precisão de 5 m georreferenciados no sistema de coordenadas geográficas WGS 84. Tanto os dados de GPS quanto a concentração de CO<sub>2</sub> foram armazenados simultaneamente no *digital cloud Blynk* e exibidos no *App* desenvolvido, conforme ilustra a Figura 5.



**Figura 5.** Sistema de medição de CO<sub>2</sub> em coleta e tela do App.



O *hardware* e o *software* apresentaram robustez e estabilidade quanto ao experimento realizado, em conformidade com pesquisa realizada por Lapshina, Kurilova & Belitsky (2019), onde afirmam que o sensor utilizado para a construção do dispositivo sugerido na presente pesquisa pode ser aplicado em ambientes a fim de evitar consequências negativas a vida humana.

As concentrações de CO<sub>2</sub> e as coordenadas geográficas foram registradas e recuperadas do *digital cloud* a fim de se analisar a disponibilidade dos dados e a confiabilidade do servidor Nariya et al., 2009.

Os pontos de medição foram classificados em três áreas: Guamá/São Braz, Av. Almirante Barroso e Av. Augusto Montenegro. A Tabela 1 apresenta as médias de concentrações em ppm e temperatura em cada área analisada.

**Tabela 1.** Médias de concentrações de CO<sub>2</sub> e temperatura do ar.

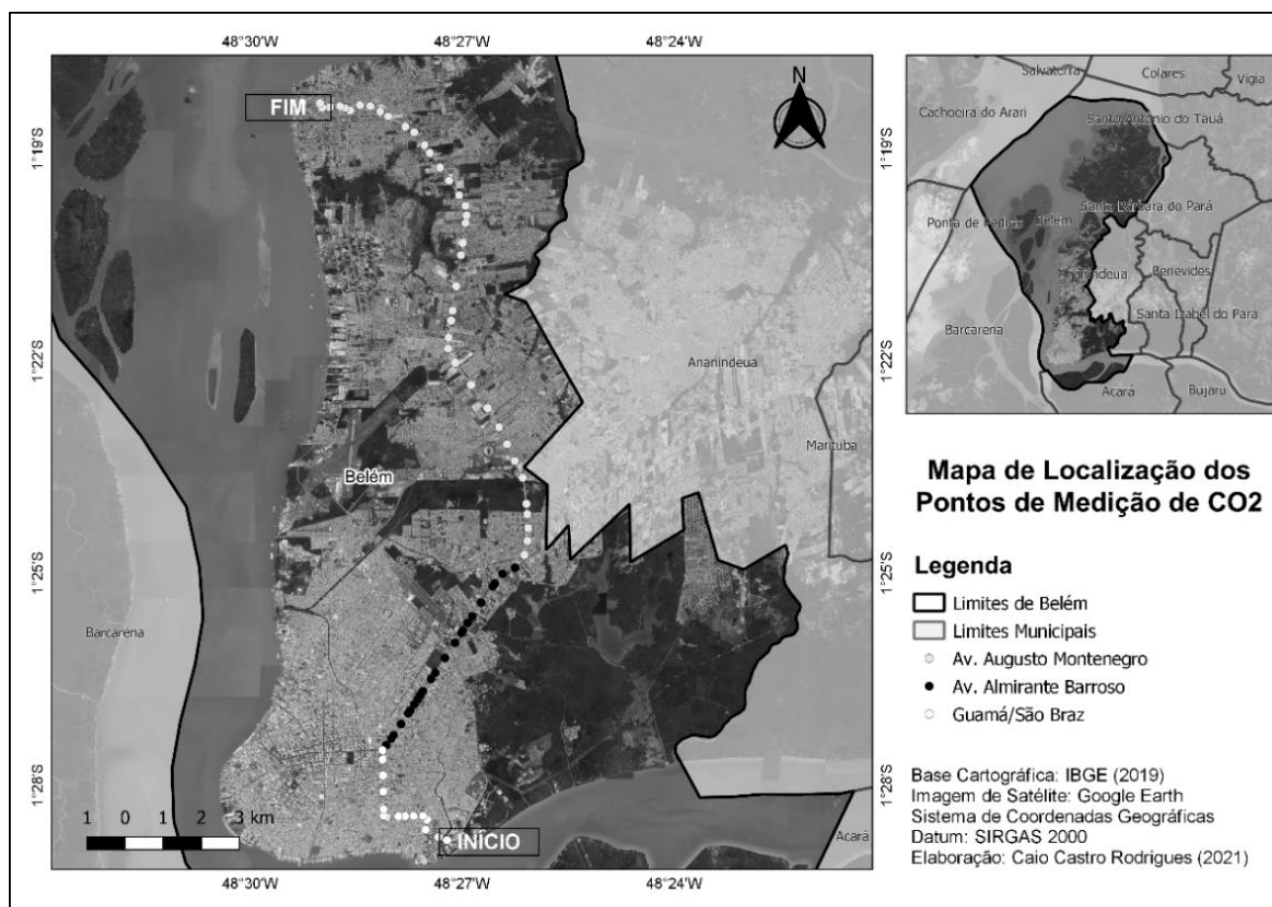
	Concentração de CO <sub>2</sub>	Desvio Padrão CO <sub>2</sub>	Temperatura
Guamá / São Braz	583,40 ppm	56,67 ppm	29,81° C
Almirante Barroso	678,65 ppm	88,15 ppm	30,18° C
Augusto Montenegro	573,25 ppm	30,05 ppm	30,13° C
Geral	611,77 ppm	58,15 ppm	30,04° C

As concentrações de dióxido de carbono no bairro do Guamá / São Braz e na Av. Augusto Montenegro apresentam valores mais baixos ao comparar com a Av. Almirante Barroso devido a maior fluidez do trânsito.

A concentração média geral de CO<sub>2</sub> do experimento apresentou valores próximos ao observado por Teixeira et al. (2018) em horários semelhantes, por mais que esses valores não apresentem efeitos nocivos à saúde já é possível alterar a taxa de respiração instintiva (acima de 600 ppm), que varia a sensação de falta de ar conforme aumenta a concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente, Prochnow (2003).

O aumento da concentração na Almirante Barroso ocorre devido a intensidade de veículos, causando engarrafamentos, que por sua vez aumentam a densidade de descargas veiculares expelindo gases. Essa característica foi observada por Stacke et al. (2009) ao realizar o experimento exemplificando concentração de dióxido de carbono expelida por veículos em relação a distância do sensor.

Os dados da coleta *in situ* foram exportados em formato de arquivo Excel<sup>®</sup>. No *software* QGIS 3.10 as coordenadas foram convertidas para o Datum SIRGAS 2000. A Figura 6 apresenta o mapa dos pontos de medição.



**Figura 6.** Mapa de localização dos pontos de medição.

No presente estudo observamos que a concentração média de CO<sub>2</sub> da Av. Almirante Barroso apresentou valores compatíveis aos observados por Brabo e Miyagawa (2014). No entanto, apresentou valor maior ao observado por Moreira et al. (2017), no qual sua pesquisa constatou 533 ppm ao analisar o ar em área urbana (próximo a Av. Almirante Barroso), durante o período de inverno, através do método de análise em equipamento de cromatografia gasosa.

A Figura 7 exibe a condição do trânsito na avenida Almirante Barroso durante o experimento.



**Figura 7.** Trânsito na Avenida Almirante Barroso.

Conforme estudo de Nascimento et al. (2015) o tráfego de ônibus urbanos na Av. Almirante Barroso representa a segunda maior frota circulante em relação aos demais tipos de veículos. Somando todas as emissões veiculares o estudo retorna valor de 421,15 kg/h de CO<sub>2</sub> na avenida.

Por outro lado Assumpção, Tavares e Coutinho (2019) fizeram levantamento de emissão e sequestro de CO<sub>2</sub> na cidade de Belém, tendo como base de cálculos a frota de ônibus urbanos, distância percorrida, número de viagens por ano e áreas capazes de absorver esse carbono emitido. Verificou-se que apenas 3,48% do CO<sub>2</sub> emitido é absorvido dentro de Belém.

Os estudos correlacionados citados no texto, corroboram na urgência de um sistema de transporte coletivo urbano mais eficiente, favorecendo a diminuição do número de veículos particulares. Um método bastante eficaz é o emprego de forma eficiente do BRT (*Bus Rapid Transit*). Esse modelo de transporte com rota partindo de São Brás, Av. Almirante Barroso e por fim chegando no bairro da Campina de Icoaraci, pode evitar o lançamento de 196.922 tCO<sub>2</sub>e (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes) em um período de 20 anos, Hashino (2019).

Ademais em nenhum ponto do experimento deste estudo foi percebido concentrações acima do nível de 1.000 ppm, nessa concentração é possível perceber

sintomas como dor na cabeça, fadiga, diferentes tipos de irritações, como explicam Bujdei e Moraru (2011).

No entanto, boas práticas de políticas de mobilidade urbana devem ser empregadas para evitar o sub aproveitamento do transporte público, tornando-o cada vez mais eficiente de acordo com estratégias do desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo. Essas ações ajudam na contenção das emissões de CO<sub>2</sub> e demais poluentes atmosféricos.

## **CONCLUSÃO**

Dispositivos proprietários de medição de CO<sub>2</sub> apresentam valor elevado, dessa forma o dispositivo desenvolvido nesse estudo apresenta uma viabilidade técnica e econômica adequada para a situação do experimento realizado. Os diferenciais do dispositivo desenvolvido são: plataforma aberta onde é possível alterar as configurações de processamento e de análises de dados; facilidade de manuseio do equipamento; conectividade com internet; automação na coleta de dados; visualização e recuperação dos dados de forma simples e gratuita, entre outros.

Os resultados apresentaram dados sobre a dinâmica do CO<sub>2</sub> em três áreas de Belém com características diferentes no trânsito de veículos. Foi possível perceber a influência que a densidade de veículos causa na dinâmica do CO<sub>2</sub> para um usuário do transporte coletivo, ademais, um estudo mais aprofundado em diferentes condições ambientais é necessário para complementar este estudo, para explicar possíveis riscos que as pessoas correm relacionados ao dióxido de carbono.

Dessa forma, conclui-se que o desenvolvimento do sistema computacional embarcado para monitoramento de CO<sub>2</sub> *in situ*, cumpriu com os objetivos técnicos no qual norteou o estudo e apresenta potencial para estudos ambientais em diversas áreas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica (PROIC) da Universidade Federal Rural da Amazônia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES pelo suporte de desenvolvimento científico da pesquisa.



## REFERÊNCIAS

- Assumpção, M. P., Tavares, P. A., & Coutinho, E. C. (2019) “Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil”, In: Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 11 (e20180186), p. 1-17.
- Brabo L. D. M., Miyagawa L. T. (2014) “Avaliação da Poluição e Qualidade do Ar, e Seus Possíveis Efeitos Sobre a Saúde Humana na Cidade de Belém”, In: Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte, p. 1-6.
- Bujdei, C., Moraru, S. A., (2011) “Ensuring confort in office buildings: desinging a KNX monitoring and control system”, In: Intelligent Environments (IE), 7<sup>th</sup> International Conference on, IEEE, p. 222-229.
- Denatran – Departamento Nacional de Trânsito. (2020) “Quantidade de Veículos por UF Município Ano de Fabricação Modelo”, <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>, Janeiro.
- Hosinho, C. S., (2018) “Potencial de Redução de Emissões Atmosféricas a partir da Implantação do BRT: Estudo de Caso em Belém – PA”. Dissertação de Mestrado, PPGPS, Universidade Estadual de Campinas.
- IBGE, (2020) “População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 01/07/ 2020”, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>, Janeiro.
- Lapshina P. D., Kurilova S. P., Belitsky, A. A., (2019) “Development of an Arduino-based CO2 Monitoring Device”, In: Conference of Russian Young Researchers, Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), IEEE, p. 595-597. Publicação Eletrônica.
- Leite, V. D. P. O., (2010) “Transporte de CO2 no Sistema Solo-Planta-Atmosfera”, Dissertação de Mestrado, PPGF, UNESP, Rio Claro. Publicação Impressa.
- Moreira, J, D.P., Silva, C.M., Bueno, C., Corrêa, S. M., Arbilla, G., (2017) “Determinação de Gases do Efeito Estufa em Cinco Capitais de Diferentes Biomas Brasileiros”, Revista Virtual de Química, v.9(5), p. 2032-2051. Publicação Eletrônica.
- Nariya, T., Seong, Y., Hashida, T., Naemura, T., (2009) “Spatio-temporal sensing and visualizing of CO2”, In: SIGGRAPH '09: Posters. New Orleans, Louisiana: ACM.
- NASA, (2021) “2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows”, <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20210114/>, Janeiro.
- Nascimento W. A., Serra I. S. D., Soares J. M., Araújo I. R. S. (2015) “Estudo da Estimativa das Emissões Veiculares Geradas no Eixo da Avenida Almirante Barroso no Município de Belém – PA”, In: Anais do 28° CBESA. Rio de Janeiro - RJ, p. 1-7.
- NOAA, National Oceanic Atmospheric Administration. (2021) “State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020”, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>, Janeiro.
- Observatório do Clima. (2020) “Análise das Emissões Brasileiras de Gases do Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas do Brasil (1990 a 2019)”, <http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>, Janeiro.
- ONU, (2015) “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, Dezembro.
- Paulino, M. L., (2017) “Monitoramento e Gestão de Variáveis em Ambiente Fechado por Meio de Rede de Sensores sem Fio (RSSF)”, Dissertação de Mestrado, PGEE, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

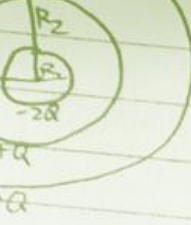
Prochnow, M. A. (2003) “Monitoramento de gases – estudo comparativo das principais tecnologias de sensores e aspectos relacionados”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Porto Alegre: Escola de Engenharia, UFRGS.

Seinfeld, J. H., Pandis S.N., (1998) “Atmospheric Chemistry and Physics from air pollution to climate change”, In: Toronto: Wiley-Interscience.

Sousa, A. M. L., Neu V, (2021) “Porque chove tanto em Belém?”, Diário do Pará, Belém, 38, (13.342), 21 de fevereiro de 2021, p. A6. Publicação Impressa.

Stacke, J., Dettenborn, E., Tomazi, R., Silveira, R. J., Santana, R. M. C., (2009) “Estudo Comparativo dos Poluentes Emitidos por Ônibus e Micro-ônibus de Transporte Coletivo”, 25° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.1-8.

Teixeira R. R. C., Matos A.C.S., Lima I. S., Coutinho E.C., (2018) “Qualidade do Ar e Acessibilidade: A Situação do Bairro de Nazaré, Município de Belém – PA”, In: Anais do XIV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Foz do Iguaçu - PR, p. 1-12.



$R_1$  is isolated  
 To get charge on small shell  
 to cancel out  $-2Q$  charge from outside  
 of  $R_1$  inside of  $R_2$  must be  $+2Q$   
 To get total of  $+Q$  on  $R_2$  outside  
 of  $R_2$  must be  $-Q$   
 of  $R_3$  must cancel out  $-Q$  so it is  
 $+Q$   
 $f R_2 = +Q$

Check  
 ladies' cap  
 at the  
 ng over  
 flock,  
 fingerheath  
 bucket on

Expanding  $\vec{E} + \vec{B}$  in powers of

$$\vec{E} \approx \hat{z} \frac{I_0}{2\pi a \epsilon_0} \frac{\sin(\omega t)}{(ka/2)} \left[ 1 - \left(\frac{kr}{2}\right)^2 \right]$$

$$\approx \hat{z} \frac{I_0}{\pi a \epsilon_0} \frac{\sin(\omega t)}{ka} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kr}{2}\right)^2 \right]$$

and

$$\vec{B} \approx \hat{\phi} \frac{I_0}{2\pi a c^2 \epsilon_0} \sin \omega t \frac{kr}{ka} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kr}{2}\right)^2 \right]$$

$$\approx \hat{\phi} \frac{I_0}{2\pi a c^2 \epsilon_0} \sin \omega t \frac{r}{a} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{kr}{2}\right)^2 \right]$$

b)

$$W_e = \frac{1}{2} \int \vec{E} \cdot \vec{D} dV = \frac{\epsilon_0}{2} \int d\phi \int dz$$

Using  $\langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{2}$

$$W_e = \frac{d I_0^2}{2\pi \epsilon_0 c^2 a^2} \frac{1}{k^2 a^2} \int_0^{\dots} \dots = \frac{d}{4\pi \dots}$$