

# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 3



Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati  
(Organizadores)



# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 3



Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmamnn  
 Gêssica Katalyne Bilcati

| Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E57                                                     | <p>Engenharias: qualidade, produtividade e inovação tecnológica 3 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmamnn, Gêssica Katalyne Bilcati. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF<br/>           Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br/>           Modo de acesso: World Wide Web<br/>           Inclui bibliografia<br/>           ISBN 978-65-258-2106-1<br/>           DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.061241101">https://doi.org/10.22533/at.ed.061241101</a></p> <p>1. Engenharia. 2. Inovação tecnológica. I. Holzmamnn, Henrique Ajuz (Organizador). II. Bilcati, Gêssica Katalyne (Organizadora). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p> |
| Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Atena Editora**  
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
 Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz.

O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
Géssica Katalyne Bilcati



**CAPÍTULO 1 ..... 1****ENERGIA FOTOVOLTAICA: UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL**

Márcio Mendonça  
 Fabio Rodrigo Milanez  
 Rodrigo Zempulski Fanucchi  
 Daniel Almeida Colombo  
 Wagner de Paula Rodrigues  
 Carolina Alves Bianchini  
 Vicente de Lime Gongora  
 Carlos Alberto Paschoalino  
 Michelle Eliza Casagrande Rocha  
 Bruno Oliveira Rosa  
 Gustavo Henrique Bazan  
 Edinei Aparecido Furquim dos Santos  
 Ângelo Feracin Neto  
 Rodrigo Rodrigues Sumar  
 André Luiz Salvat Moscato  
 Marcos Banheti Rabello Vallim  
 Andressa Haiduk

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411011>

**CAPÍTULO 2 ..... 14****INCLINASOL: AN APPLICATION FOR CALCULATING THE OPTIMAL ANGLE OF SOLAR PANELS**

Alexandro Gomes  
 Maria Francisca do Nascimento Oliveira  
 Marcelo Musci

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411012>

**CAPÍTULO 3 .....24****CAPACITAÇÃO TÉCNICA PARA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Marcelo Musci  
 Ian Suzano Marques de Sousa  
 Luis Eduardo Casemiro  
 Carlos Augusto Cruz da Silva  
 Marcos de Souza Freitas Machado  
 George Silva Cardoso Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411013>

**CAPÍTULO 4 .....40****CONTROLE DE TEMPERATURA PI APLICADO EM UMA ESTUFA ESTACIONÁRIA INDUSTRIAL**

Julio Santos Corrêa  
 Luciana Paro Scarin Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411014>

**CAPÍTULO 5 ..... 51****ANÁLISIS, DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE BANDA ANCHA PARA UNA FRECUENCIA DE RESONANCIA DE 1.9 GHZ**

Javier Alvaro Rivera Suaña

Raúl Reynaldo Ito Díaz

Alberto Paricahua Huaynapata

Armando Antonio Salinas Del Carpio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411015>**CAPÍTULO 6 ..... 60****THE INFLUENCE OF VACCINES ON COVID-19 CONTROL BY NUMERICAL SIMULATION: A WARNING FOR ITS SPREAD AND CONTROL**

Moises Meza Pariona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411016>**CAPÍTULO 7 ..... 69****BIODIGESTOR A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTARES: UMA PROPOSTA PARA O RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFERSA - MOSSORÓ**

Matheus Henrique Medeiros de França

Anderson Felipe Costa Leonês

Lais Aparecida Nascimento de Melo

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella

Pedro Victor de Sousa Albuquerque

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411017>**CAPÍTULO 8 ..... 81****COZIMENTO DE CERÂMICA ARTESANAL: ENTRE O TRADICIONAL E O MODERNO**

Erasmus Borges de Souza Filho

Jailton Gomes da Silva

Maria Rosilene Pereira Trindade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411018>**CAPÍTULO 9 ..... 90****USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO CORRETORES NO SOLO**

Esther Aparecida dos Santos

Rodrigo de Almeida Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0612411019>**CAPÍTULO 10..... 96*****Aeromonas spp.* NA ÁGUA E COMEDOUROS DE *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) EM UMA PISCICULTURA NO SERTÃO DA BAHIA**

Estephany Dayane Sousa Silva

Paloma Ketley Andrade Lins Campos

Thaila Pereira Andrade

Naiane Barros de Souza  
 Pedro Henrique Leal Dantas  
 Susana Menezes Luz de Souza  
 Maristela Casé Costa Cunha  
 Danilo Mamede da Silva Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06124110110>

## **CAPÍTULO 11 ..... 106**

### **ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ELECTROIMANES INDUSTRIALES**

Nestor Antonio Flores Martínez  
 Valentín Guzmán Ramos  
 Ricardo Chapa García

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06124110111>

## **CAPÍTULO 12.....118**

### **PROPRIEDADES DAS FIBRAS REGENERADAS DE CELULOSE**

Aline Ferreira Knhis  
 Beatriz Barbosa de Brito  
 Clara Leal Schwertl  
 Lucas Souza da Silva  
 José Alexandre Borges Valle  
 Andrea Cristiane Krause Bierhalz  
 Rita de Cassia Siqueira Curto Valle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06124110112>

## **CAPÍTULO 13..... 133**

### **LÍQUIDOS IÔNICOS: PROPRIEDADES E APLICAÇÃO NA DISSOLUÇÃO E REGENERAÇÃO DA CELULOSE**

Aline Ferreira Knhis  
 Andrea Cristiane Krause Bierhalz  
 Rita de Cassia Siqueira Curto Valle

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.06124110113>

## **SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 148**

## **ÍNDICE REMISSIVO ..... 149**

## ENERGIA FOTOVOLTAICA: UMA ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA UMA INSTALAÇÃO INDUSTRIAL

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
PPGEM-CP - Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Mecânica PP/  
CP  
Cornélio Procópio - PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Fabio Rodrigo Milanez**

UnisenaiPR - Câmpus Londrina  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica-  
Londrina -PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

### **Rodrigo Zempulski Fanucchi**

Universidade Estadual de Londrina  
Departamento de Bioenergia  
Londrina – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/0937371415675134>

### **Daniel Almeida Colombo**

UnisenaiPR - Câmpus Londrina  
Departamento acadêmico de Engenharia  
Mecânica  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/0172888278106060>

### **Wagner de Paula Rodrigues**

UnisenaiPR - Câmpus Londrina  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
de Software -  
Londrina - PR  
<http://lattes.cnpq.br/8631066453482367>

### **Carolina Alves Bianchini**

UnisenaiPR - Câmpus Londrina  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica e Automação Industrial  
Londrina - PR  
<https://lattes.cnpq.br/6609962687526020>

### **Vicente de Lime Gongora**

UnisenaiPR - Câmpus Londrina  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica-  
Londrina -PR  
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

### **Carlos Alberto Paschoalino**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná  
Departamento de Engenharia Elétrica –  
Daele  
Cornélio Procópio - Pr  
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

**Michelle Eliza Casagrande Rocha**

Engenheira Telecomunicações - Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton –  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

**Bruno Oliveira Rosa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Acadêmico - Departamento de Engenharia Elétrica – Daele  
Cornélio Procópio - Pr  
<http://lattes.cnpq.br/5010826876808074>

**Gustavo Henrique Bazan**

Instituto Federal do Paraná  
Campus Jacarezinho  
Jacarezinho - PR  
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

**Edinei Aparecido Furquim dos Santos**

Governo do Paraná Secretaria de estado da Fazenda  
Maringá – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

**Ângelo Feracin Neto**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

**Rodrigo Rodrigues Sumar**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)  
Cornélio Procópio – Pr  
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

**André Luiz Salvat Moscato**

Instituto Federal do Paraná  
Campus Jacarezinho  
Jacarezinho - PR  
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

**Marcos Banheti Rabello Vallim**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento de Engenharia Elétrica – Daele  
Cornélio Procópio - Pr  
<http://lattes.cnpq.br/2326190172340055>

**Andressa Haiduk**

Dimension Engenharia  
Ponta Grossa - PR  
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

**RESUMO:** Com a publicação da REN ANEEL nº 482 em 2012, o consumidor brasileiro de energia elétrica ganhou o direito de gerar sua própria energia localmente através de fontes renováveis e ter um benefício financeiro. A pesquisa objetivou realizar uma investigação através de um estudo de caso para analisar técnica e economicamente o investimento de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica em uma indústria. Utilizamos ferramentas de análise financeira para definir o *payback*, descontado, a taxa interna de retorno e o valor presente líquido, considerando vida útil do sistema de 25 anos. O investimento foi de R\$ 170.000,00 e apresentou *payback* descontado de 5 anos e 8 meses, TIR de 20,13% sendo maior que a TMA de 5%, inicialmente considerada no projeto, e um VPL positivo de R\$ 299.192,39, indicando que o projeto pode ser aceito. O investimento realizado, se comparado com a poupança, se demonstrou mais atrativo, com retorno financeiro maior. Na simulação realizada considerando o novo cenário da REN ANEEL nº 1059/2022 (GD II), o consumidor teria uma redução de benefício de 27,52% ao longo dos 25 anos comparado a GD I, com sistemas instalados antes de 7/1/2023.

**PALAVRAS-CHAVE:** solar; energia; fotovoltaica; microgeração; viabilidade;

## PHOTOVOLTAIC ENERGY: A FEASIBILITY ANALYSIS FOR AN INDUSTRIAL PLANT

**ABSTRACT:** With the publication of ANEEL REN 482 in 2012, Brazilian electricity consumers gained the right to generate their own energy locally from renewable sources and benefit financially. The research aimed to carry out an investigation through a case study to analyze the investment of a photovoltaic system technically and economically for generating electricity in an industry. We used financial analysis tools to define the discounted *payback*, the internal rate of return and the net present value, considering the system's useful life of 25 years. The investment amounted to R\$ 170,000.00 and showed a discounted *payback* of 5 years and 8 months, an IRR of 20.13%, which is higher than the 5% APR initially considered in the project, and a positive NPV of R\$ 299,192.39, indicating that the project can be accepted. The investment made, when compared to savings, proved to be more attractive, with a higher financial return. In the simulation carried out considering the new scenario of ANEEL REN 1059/2022 (DG II), the consumer would see a reduction in benefit of 27.52% over the 25 years compared to DG I, with systems installed before 7/1/2023.

**KEYWORDS:** solar; energy; photovoltaic; microgeneration; viability; .

## 1 | INTRODUÇÃO

O setor industrial no Brasil é um dos maiores consumidores de energia elétrica, sendo responsável por 35% do consumo total em 2022, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Esse alto consumo tem um impacto nos custos das indústrias, sendo que em 2022 o custo da energia elétrica representou 11,4% dos custos totais de produção das indústrias brasileiras, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2022).

O Brasil ainda possui uma das tarifas de energia elétrica mais caras do mundo, superando a França, Canadá, México e Estados Unidos, onerando o processo fabril,

levando as empresas a buscar alternativas para compensar esse custo (CNI, 2021).

Essa situação pôde ser sentida em 2021, quando o Brasil passou por um momento de estiagem que durou até meados de 2022 (FIEP, 2022). Uma sondagem industrial realizada no final de 2021 mostra que o terceiro trimestre de 2021 foi marcado por uma forte pressão nos custos industriais, afetando a retomada da economia. Entre estes custos se encontra os custos da energia elétrica (FIEP, 2022).

Nesse sentido o Brasil apresenta uma vantagem natural para a diversificação da matriz a partir da geração fotovoltaica. De forma mais prática, a geração distribuída no ponto de consumo a partir de painéis fotovoltaicos instalados nas empresas, mostra-se como uma opção viável, sendo uma das bases de planejamento energético da ANEEL contribuindo para o aumento esperado da matriz energética solar de 2,4% para 3,5% em 2025 (ONS, 2021).

Neste contexto a pesquisa se propôs a investigar a viabilidade técnica-econômica do uso de um sistema fotovoltaico (SFV) na modalidade de geração distribuída (GD) e sua contribuição para uma unidade tarifada no grupo B.

## **2 | GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL**

Conforme as regras estabelecidas pela REN ANEEL nº 482/2012 e modificada pelas REN ANEEL nº 687/2015, é permitido aos consumidores instalar gerador em sua unidade consumidora e utilizar o sistema elétrico da concessionária de energia elétrica para injetar o excedente de energia, que será convertido em crédito de energia válido por 60 meses, que poderão ser utilizados para abater do consumo da própria unidade nos meses seguintes ou de outras unidades consumidoras previamente cadastradas e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo.

O autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de mesma titularidade que possua unidade consumidora com microgeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras.

Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade. A figura 1 abaixo mostra o sistema de compensação de energia e as partes envolvidas.



Figura 1 – Sistema de Compensação de ENergia

## 2.1 REVISÃO

As empresas buscam reduzir custos operacionais, e umas das formas de atingir esse objetivo é investindo em energia solar. Tendo em vista a dificuldade em planejar investimentos nessa área, administradores procuram estudar técnicas de análise para viabilizar projetos dessa natureza.

O objetivo desse tópico é revisar trabalhos já publicados com assuntos correlatos a pesquisa referente a viabilidade técnica financeira da implantação da energia solar em uma unidade consumidora.

De acordo com Souza e Penha (2020), durante o desenvolvimento de estudo de viabilidade econômica de um projeto solar, constataram que o investimento inicial de R\$ 51.200,00 reais se apresentou viável, com payback positivo em 4 anos, TIR de 30% e VPL positivo de R\$ 332.000,00 em 15 anos, onde a maior dificuldade encontrada foi o alto valor inicial de investimento. Foi utilizada a TMA de 5%, a mesma utilizada na análise da Sulfiltros.

Um estudo realizado em uma unidade hoteleira em Tapes, RS, na concessionária CEEE, custo inicial de R\$ 144.000,00 reais, gerando 4.000 kWh/mês, o *payback* positivo foi de 4 anos e 7 meses, TIR de 12,64%, maior que a TMA de 10% (Abel et al., 2019).

## 3 | RESOLUÇÕES NORMATIVAS ANEEL

Resolução Normativa é um documento de organização administrativa interna destinado a estabelecer diretrizes, normatizar métodos e procedimentos, bem como regulamentar matéria específica anteriormente disciplinada a fim de orientar os dirigentes e servidores no desempenho de suas atribuições.



No caso das resoluções da Aneel, elas se destinam a disciplinar assuntos do interesse interno do setor elétrico brasileiro, e apresentam regulamentos que definem de maneira objetiva as responsabilidades das concessionárias de energia e dos consumidores para que o acesso universal ao serviço de energia.

No âmbito da geração distribuída, destacam-se

a) Resolução Normativa 482;

De acordo com a ANEEL (2012), a REN nº 482 orienta quantos aos critérios de acesso por parte dos consumidores de energia a sistemas de microgeração, podendo compensá-la na rede de distribuição da concessionária, onde desde abril de 2012 passou a ser permitido o acesso de microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica (redes elétricas das concessionárias de energia).

b) Resolução Normativa 687;

A REN Aneel nº 687 de 2015 reduziu o tempo de concessão do acesso através da padronização dos formulários de solicitação, orientando as distribuidoras a seguirem um padrão. De 2015 até 2019 o tempo médio para acesso caiu de 180 para 51 dias (ANEEL, 2015).

Seu Art. 1º visa Alterar o art. 2º da REN Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

Do seu Art 2º temos:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição;

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito;

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão;

## 4 | TÉCNICAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Vamos abordar a técnica da TIR, VPL e o *Payback*. Para compreensão do conceito torna-se necessário a eliminação da idéia de inflação. Para isso, supõe-se que a inflação tecnicamente atinge todos os preços da mesma forma, sendo, portanto, anulada no período considerado.

## 4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é uma medida financeira que avalia o retorno de um investimento levando em consideração o valor do dinheiro no tempo. O VPL é calculado descontando os fluxos de caixa futuros de um investimento a uma taxa de juros apropriada. O VPL é o valor atual de todos os fluxos de caixa futuros de um investimento de acordo com a equação 1 abaixo:

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{(Fct)}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Onde: VPL= Valor Presente Líquido; FCt = fluxo de caixa; t = momento em que o fluxo de caixa ocorreu; i = taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade); e n = período de tempo;

## 4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR) e Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

É a taxa de desconto que torna o valor presente líquido (VPL) de um fluxo de caixa igual a zero, igualando os benefícios futuros de um investimento aos custos iniciais. A TIR fornece uma indicação do retorno que um investimento pode gerar. A fórmula para calcular a TIR segue abaixo na equação 2:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FCi}{(1+TIR)^i} - investimento\ inicial = 0 \quad (2)$$

Onde:

FCi = fluxos de caixa do período; i = período de cada investimento; N = período final do investimento; TIR = Taxa Interna de Retorno

A TIR pode ser interpretada como a taxa de juros que um investidor exigiria para investir em um projeto. Por exemplo, se a TIR de um projeto é de 10%, significa que um investidor exigiria um retorno de 10% sobre seu investimento para considerá-lo um bom investimento.

Um projeto de investimento será considerado viável se sua TIR for maior do que o custo de oportunidade dos recursos para sua implantação, também conhecida com a taxa mínima de atratividade. Assim, quanto maior a TIR, maior a atratividade do projeto.

TIR > TMA, o projeto deve ser aceito;

TIR = TMA, é indiferente aceitar ou rejeitar projeto;

TIR < TMA, o projeto deve ser rejeitado

Já a taxa mínima de atratividade (TMA) é um valor percentual que indica que o mínimo exigível para que um investimento seja feito e que o dinheiro seja aplicado.

### 4.3 Payback Descontado

O payback, um indicador financeiro simples, mede o tempo necessário para recuperar o investimento inicial de um projeto, geralmente expresso em anos ou meses. Embora fácil de entender, o payback não considera o valor do dinheiro ao longo do tempo, o que o torna limitado em precisão. Por isso, é comum combiná-lo com outros indicadores como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) para uma análise mais abrangente.

Carvalho e Rezende (2012) destacam o uso do payback descontado para avaliar o retorno de investimentos, levando em conta o fluxo de caixa descontado. O estudo também aborda a aplicação do método de estudo de caso em pesquisa qualitativa, particularmente na avaliação de sistemas fotovoltaicos em indústrias. A pesquisa envolveu uma análise detalhada do setor elétrico, normativas relevantes e dados reais de consumo de energia, potência, capacidade de geração e classe de consumo de uma unidade específica, antes e depois da instalação de um sistema fotovoltaico.

## 5 | RESULTADOS DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A unidade consumidora é uma indústria de filtros industriais e se em Rolândia, Paraná, na Av Itamaraty, nº 1600. A entrada de energia é de 200 A e opção tarifária do grupo B, pagando apenas tarifa de energia e uso do sistema de distribuição. A figura 2 abaixo mostra a entrada de energia.



Figura 2 – Entrada de Energia

A potência máxima de geração distribuída que ele pode instalar fica limitada a 75 kW, conforme REN ANEEL nº 1059/2023.

De acordo com a gerente da unidade, foram instalados 133 módulos FV da marca Trina de 345Wp cada, de tipo policristalino e um inversor WEG 40 kW de pico, em 380V,

com monitoramento sem fio, conforme proposta abaixo ilustrada na figura 3.

| Proposta: 102.20-RV01                            |  | Nome do cliente: Fernando Garcia Dos Santos                                                                                               |         |
|--------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| CPF/CNPJ:                                        |  | Local de instalação: Rolândia – PR.                                                                                                       |         |
| Telefone:                                        |  | E-mail:                                                                                                                                   |         |
|                                                  |  |                                                          |         |
| EQUIPAMENTOS                                     |  | DESCRIÇÃO                                                                                                                                 | QTE     |
| MÓDULOS                                          |  | MÓDULO FV TRINA 345Wp POLICRISTALINO                                                                                                      | 133     |
| INVERSORES                                       |  | WEG 40kW 380V – Com monitoramento Wi-Fi                                                                                                   | 1       |
| ESTRUTURAS                                       |  | ESTRUTURA PARA FIXAÇÃO DOS PAINÉIS EM TELHADO METÁLICO                                                                                    | 133     |
| VARIEDADES                                       |  | PROTEÇÃO DC E AC                                                                                                                          | Incluso |
|                                                  |  | CONECTORES MC4 MACHO E FEMEA                                                                                                              | Incluso |
|                                                  |  | CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC PT ABNT NBR 16612                                                                                             | Incluso |
|                                                  |  | CABO SOLAR 6MM ATE 1800V CC VM ABNT NBR 16612                                                                                             | Incluso |
| SERVIÇOS                                         |  | DESCRIÇÃO                                                                                                                                 | QTE     |
| INSTALAÇÃO                                       |  | INSTALAÇÃO E COMISSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID 45,89 kWp, tempo estimado para conclusão: 90 a 120 dias.                     | Incluso |
| PROJETO                                          |  | PROJETO EXECUTIVO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID 45,89 kWp, para homologação do sistema.                                                 | Incluso |
| INFRAESTRUTURA                                   |  | Readequações civis e estruturais, fornecimento de materiais para infraestrutura elétrica, civil etc.                                      | Não     |
| GARANTIAS                                        |  | DESCRIÇÃO                                                                                                                                 | QTE     |
| MÓDULOS                                          |  | Módulos fotovoltaicos com 10 anos de garantia contra defeito de fabricação e 90% de eficiência, 25 anos de garantia de 80% de eficiência. | Incluso |
| INVERSORES                                       |  | Inversores com 5 anos de garantia contra defeitos de fabricação.                                                                          | Incluso |
| ESTRUTURAS                                       |  | Estrutura de fixação com 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação.                                                               | Incluso |
| INSTALAÇÃO                                       |  | Garantia de 1 ano sobre a instalação do seu sistema fotovoltaico on-grid.                                                                 | Incluso |
| Valor Total da Proposta: R\$ 170.000,00 à vista. |  |                                                                                                                                           |         |

Figura 3 – Proposta da instalação

As coordenadas de instalação do sistema foram: Latitude: 23,301° S e Longitude: 51,349° O, e a irradiação média no local, de acordo com as coordenadas acima e de acordo com o CRESEB é ilustrada na tabela abaixo conforme figura 4.

| Ângulo                  | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-------------------------|------------|---------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                         |            | Jan                                               | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média | Delta |
| Plano Horizontal        | 0° N       | 5,91                                              | 5,80 | 5,25 | 4,62 | 3,66 | 3,38 | 3,59 | 4,50 | 4,68 | 5,33 | 6,00 | 6,26 | 4,91  | 2,88  |
| Ângulo igual a latitude | 23° N      | 5,34                                              | 5,54 | 5,42 | 5,27 | 4,53 | 4,40 | 4,59 | 5,36 | 5,01 | 5,21 | 5,49 | 5,66 | 5,14  | 1,15  |
| Maior média anual       | 21° N      | 5,41                                              | 5,59 | 5,43 | 5,24 | 4,48 | 4,33 | 4,53 | 5,31 | 5,00 | 5,25 | 5,56 | 5,64 | 5,15  | 1,30  |
| Maior mínimo mensal     | 36° N      | 4,79                                              | 5,12 | 5,23 | 5,35 | 4,78 | 4,74 | 4,91 | 5,56 | 4,93 | 4,89 | 4,96 | 4,93 | 5,02  | ,82   |

Figura 4 – Irradiação solar média mensal, em Kwh/m2.dia

A média anual varia entre 4,91 e 5,02 Kwh/m2.dia, e a média de consumo registrada na Sulfiltros é 5.551 kWh. Aplicando um fator de segurança de 10% foi considerado no cálculo do SFV o montante de 6.200 kWh. Foi utilizada a seguinte equação 3 abaixo para o cálculo da potência do SFV:

$$Potência\ SFV = \frac{Consumo}{(Irradiação\ Direta) \times (Eficiência) \times (Período)}$$

(eq.3)

onde: - Potência SFV: potência da solar [kW]; - Consumo: de energia elétrica [kWh]; - Irradiação Direta: energia proveniente do sol [kWh/m2.dia]; - Eficiência: do módulo solar,

na média em torno de 80% [%]; - Período: tempo da geração solar, considera-se 30 dias por mês, [dias];

$$Potência\ SFV = \frac{6200}{(5) \times (0,8) \times (30)} = 51.660W = 51,66\ kW \quad (3)$$

O sistema custou R\$ 170.000,00 reais, e o tempo de vida útil a ser considerado será de 25 anos, de acordo com os fabricantes. No primeiro ano após a instalação da energia solar, a economia foi de R\$ 35.881,34.

A TMA considerada foi de 5%, acima da Selic em 2019, que era de 4,25%. TMA é um índice, dado em porcentagem, também é conhecida como a rentabilidade mínima que o investidor considera para realizar o investimento (Conceitos, 2022).

Com a TMA de 5% definida, o tempo de retorno de investimento real (*payback* descontado) ocorrerá em quase 6 anos. Esse valor é identificado no momento em que a VPL cruza o eixo zero do gráfico, momento em que o investimento se paga. O VPL ao final dos 25 anos ficou em R\$ 299.192,29, sendo a soma de todos os fluxos de caixa trazidos para valor presente, conforme gráfico ilustrado pela figura 5.

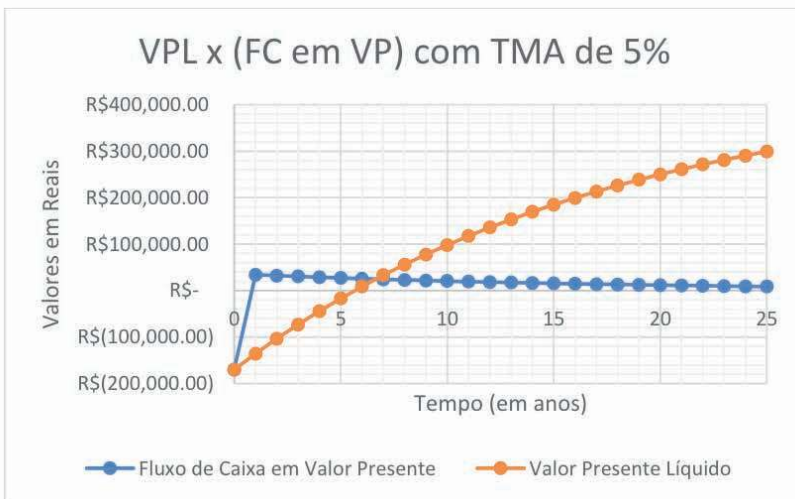


Figura 5 - VPL e *payback* descontado com TMA de 5%

Aumentar a TMA significa aumentar o tempo de *payback*, e quem define a TMA é o “dono” do investimento, aquele que vai disponibilizar um recurso financeiro para realizar o investimento. A figura 6 abaixo mostra o quadro com os valores utilizados para definição da VPL, TMA e Fluxo de Caixa trazido para Valor Presente considerando a TMA de 5%.

|                                                     |       |            |       |                        |                 |                 |                 |                 |
|-----------------------------------------------------|-------|------------|-------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Investimento em SFV de 170 mil reais, tempo 25 anos |       |            |       | Economia Anual Inicial |                 | R\$             | 35.881,34       |                 |
| TMA de 4,25%                                        |       |            |       | Financiamento anual    |                 | R\$             | 56.880,00       |                 |
| Despesas                                            | R\$   | 170.000,00 |       |                        |                 |                 |                 |                 |
| Investimento                                        | R\$   | 170.000,00 | Tempo | Despesas               | Receitas        | Fluxo de Caixa  | FC em VP        | VPL             |
| Receita                                             | R\$   | 35.881,34  | 0     | -R\$ 170.000,00        | -R\$ 170.000,00 | -R\$ 170.000,00 | -R\$ 170.000,00 | -R\$ 170.000,00 |
| TMA                                                 | 5,00% | 1          |       | R\$ 35.881,34          | R\$ 35.881,34   | R\$ 34.172,70   | -R\$ 135.827,30 |                 |
| Projeto é viável?                                   | sim   | 2          |       | R\$ 35.594,29          | R\$ 35.594,29   | R\$ 32.285,07   | -R\$ 103.542,23 |                 |
|                                                     |       | 3          |       | R\$ 35.309,53          | R\$ 35.309,53   | R\$ 30.501,70   | -R\$ 73.040,52  |                 |
| TMA                                                 | 5,00% | 4          |       | R\$ 35.027,06          | R\$ 35.027,06   | R\$ 28.816,85   | -R\$ 44.223,67  |                 |
|                                                     |       | 5          |       | R\$ 34.746,84          | R\$ 34.746,84   | R\$ 27.225,06   | -R\$ 16.998,61  |                 |
| TMA = TX Desconto                                   |       | 6          |       | R\$ 34.468,87          | R\$ 34.468,87   | R\$ 25.721,20   | R\$ 8.722,59    |                 |
|                                                     |       | 7          |       | R\$ 34.193,12          | R\$ 34.193,12   | R\$ 24.300,41   | R\$ 33.023,00   |                 |
| VPL                                                 | R\$   | 299.192,39 |       | 8                      | R\$ 33.919,57   | R\$ 33.919,57   | R\$ 22.958,10   | R\$ 55.981,10   |
| Σ FC em VP                                          | R\$   | 299.192,39 |       | 9                      | R\$ 33.648,22   | R\$ 33.648,22   | R\$ 21.689,94   | R\$ 77.671,04   |
|                                                     |       | 10         |       | R\$ 33.379,03          | R\$ 33.379,03   | R\$ 20.491,83   | R\$ 98.162,86   |                 |
|                                                     |       | 11         |       | R\$ 33.112,00          | R\$ 33.112,00   | R\$ 19.359,90   | R\$ 117.522,76  |                 |
|                                                     |       | 12         |       | R\$ 32.847,10          | R\$ 32.847,10   | R\$ 18.290,49   | R\$ 135.813,26  |                 |
|                                                     |       | 13         |       | R\$ 32.584,32          | R\$ 32.584,32   | R\$ 17.280,16   | R\$ 153.093,42  |                 |
|                                                     |       | 14         |       | R\$ 32.323,65          | R\$ 32.323,65   | R\$ 16.325,64   | R\$ 169.419,06  |                 |
|                                                     |       | 15         |       | R\$ 32.065,06          | R\$ 32.065,06   | R\$ 15.423,84   | R\$ 184.842,90  |                 |
|                                                     |       | 16         |       | R\$ 31.808,54          | R\$ 31.808,54   | R\$ 14.571,86   | R\$ 199.414,76  |                 |
|                                                     |       | 17         |       | R\$ 31.554,07          | R\$ 31.554,07   | R\$ 13.766,94   | R\$ 213.181,70  |                 |
|                                                     |       | 18         |       | R\$ 31.301,64          | R\$ 31.301,64   | R\$ 13.006,48   | R\$ 226.188,18  |                 |
|                                                     |       | 19         |       | R\$ 31.051,23          | R\$ 31.051,23   | R\$ 12.288,02   | R\$ 238.476,20  |                 |
|                                                     |       | 20         |       | R\$ 30.802,82          | R\$ 30.802,82   | R\$ 11.609,26   | R\$ 250.085,46  |                 |
|                                                     |       | 21         |       | R\$ 30.556,39          | R\$ 30.556,39   | R\$ 10.967,98   | R\$ 261.053,44  |                 |
|                                                     |       | 22         |       | R\$ 30.311,94          | R\$ 30.311,94   | R\$ 10.362,13   | R\$ 271.415,58  |                 |
|                                                     |       | 23         |       | R\$ 30.069,45          | R\$ 30.069,45   | R\$ 9.789,75    | R\$ 281.205,33  |                 |
|                                                     |       | 24         |       | R\$ 29.828,89          | R\$ 29.828,89   | R\$ 9.248,98    | R\$ 290.454,31  |                 |
|                                                     |       | 25         |       | R\$ 29.590,26          | R\$ 29.590,26   | R\$ 8.738,09    | R\$ 299.192,39  |                 |

Figura 6 – Demonstrativo dos valores utilizados para cálculo do VPL

Com base nos dados acima foi possível calcular a TIR para definir se o projeto é ou não viável a luz do investimento realizado. A TIR de um projeto pode ser entendida como a remuneração do capital investido.

Quando esse valor de TIR é encontrado (zerando o VPL ao final dos 25 anos) e, esse valor da TIR for maior que a TMA, o projeto pode ser aceito, sendo viável economicamente. Em outras palavras eu vario a taxa de desconto (também conhecida como TIR), de modo que o VPL se torne nulo (zerado).

No estudo de caso o VPL será nulo inserindo uma TIR de aproximadamente 20%, valor maior que a TMA de 5%, portanto o projeto da Sulfiltros se demonstrou viável. Vide figura 7 com o gráfico abaixo.

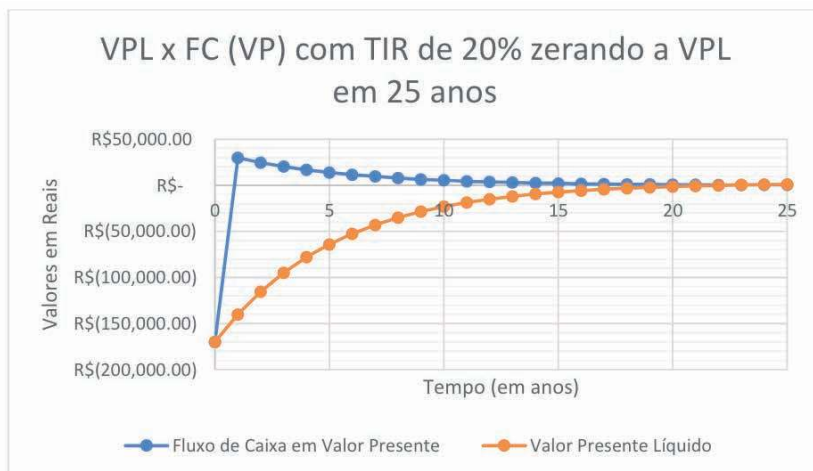


Figura 7 – TIR de 20% com VPL atingindo o valor nulo

O texto analisa as implicações financeiras da não utilização de um sistema fotovoltaico (SFV) em uma indústria. Sem o SFV, a indústria enfrentaria custos anuais de energia de cerca de R\$ 54.305,00, aumentando em média 9,4% ao ano. Ao longo de 25 anos, isso totalizaria R\$ 4.881.688,48, ou R\$ 2.320.489,83 em valor presente. Comparativamente, se o investimento inicial de R\$ 170.000,00 fosse colocado na poupança, renderia R\$ 618.792,20 em 25 anos, deixando um saldo devedor de R\$ 1.701.697,70.

Por outro lado, ao instalar o SFV, o investimento inicial seria o mesmo, mas resultaria em um fluxo de caixa positivo acumulado de R\$ 299.192,39 ao longo de 25 anos, considerando já o desconto do investimento. Isso demonstra a viabilidade econômica do investimento em energia solar, que se pagaria entre o 5º e o 6º ano, em comparação com a aplicação na poupança.

O texto também aborda uma simulação sob as novas regras da REN ANEEL nº 1059/2023, que indicam uma perda de retorno de R\$ 82.848,71 para a indústria ao longo dos 25 anos devido ao enquadramento na categoria GD II. No caso específico da empresa Sulfiltros, que instalou o sistema antes de 7/1/23, ela se beneficia do enquadramento na GD I, evitando as perdas de crédito impostas pela REN 1059.

## 6 | CONCLUSÃO

O Sistema Fotovoltaico (SFV) provou ser uma alternativa econômica para reduzir custos em instalações industriais de baixa tensão. Após a instalação observou-se uma redução de 38,63% no consumo de energia, de 66.645 kWh para 40.900 kWh. Financeiramente o sistema apresentou um saldo positivo de R\$ 299.192,39, superando o rendimento da poupança. O *payback* descontado ficou em quase 6 anos, com uma TIR

de 20,13%, indicando a viabilidade positiva do projeto em comparação com a TMA de 5%.

Tecnicamente e economicamente viável, o projeto contribuiu não só para a competitividade da empresa, mas também para o desenvolvimento sustentável. A compensação de energia injetada na rede, no entanto, não anulou totalmente a conta de luz, devido à taxa mínima cobrada pela concessionária. Além disso, mudanças trazidas pela Lei 14.300/2022 e pela REN ANEEL nº 1059/2023 impactaram o grupo B, a que pertence à empresa, reduzindo os benefícios da microgeração de energia elétrica em cerca de 30%. Este estudo também sugere futuras melhorias no sistema e aborda a expansão da energia solar como uma importante fonte de energia renovável.

## REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, DF: ANEEL, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 5, p. 4, 7 jan. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 26 ago. 2023.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Custo da energia elétrica para a indústria. Brasília, DF: CNI, 17 nov. 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/>. Acesso em: 13 out. 2022.

CONCEITOS diversos. Faz a Conta, 2022. Disponível em: <https://fazaconta.com/>. Acesso em 06 nov. 2022.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. Alerta de crise hídrica e os impactos para o mercado de energia elétrica. Curitiba: Copel Mercado Livre, 2022. Disponível em: <https://copelmercadolivre.com/alerta-de-crise-hidrica-e-os-impactos-para-o-mercado-de-energia/>. Acesso em: 14 out. 2022.

CRECESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. Rio de Janeiro: CRECESB, 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 27 out. 2022.

FIEP - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ. Indicadores de custos industriais. Curitiba: FIEP, 2022. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/indicador-de-custos-industriais/>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SOUZA, Gabriela Romana; PENHA, Roberto Silva. Viabilidade econômica de um projeto de investimento de energia fotovoltaica. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) - Centro de Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020

SULFILTROS. Rolândia: Sulfiltros, 2022. Disponível em: <https://sulfiltros.com.br>. Acesso em: 26 out. 2022.



# INCLINASOL: AN APPLICATION FOR CALCULATING THE OPTIMAL ANGLE OF SOLAR PANELS

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

### Alexandro Gomes

Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro - SEE/RJ  
<http://lattes.cnpq.br/7528793848743207>

### Maria Francisca do Nascimento Oliveira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
<http://lattes.cnpq.br/2170955804450785>

### Marcelo Musci

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
<http://lattes.cnpq.br/6728045154451354>

**ABSTRACT:** Solar energy is one of the promising renewable energy sources that has the potential to meet future energy demand worldwide. This article analyzes the different parameters that influence the determination of the optimal tilt angle for maximum solar energy collection. It proposes a new equation to calculate the optimal tilt angle based on the latitude and longitude values of the solar panel installation site. A computer program, InclinaSol, was implemented taking into consideration undesired effects such as dust, dirt, and other atmospheric factors that can affect the solar panel's operating

efficiency. Case studies were conducted for the districts of Guaratiba, Deodoro, and Copacabana, as they are located in different regions of Rio de Janeiro City. The choice of these locations was based on their geographical coordinates and territorial distance. The investigation is carried out considering installation angles of 0°, 17°, 30°, and 45°. Solar incidences on the surface of the solar panels were estimated using data calculated by the RadiaSol application, developed by the Solar Energy Laboratory of the Federal University of Rio Grande do Sul. The results obtained from the developed application showed that, for the city of Rio de Janeiro, installing a solar panel with the same average roof tilt angle of residential buildings (17°) is technically feasible. However, when considering the undesired effects, the tilt angle calculated by the application (30°) is more advantageous and results in solar irradiation values with a difference of at most 3.9% compared to the 17° tilt angle.

**KEYWORDS:** Solar panels. Renewable energy. Tilt of solar panels. Solar energy.

## INTRODUCTION

Solar panels have been a fundamental option for providing financial savings on the final consumer's electricity bill, as well as for reducing environmental impact. For this purpose, the orientation of solar panels is of crucial importance for better absorption of solar radiation (Montalvão, 2009).

Placing solar panels in shaded spaces is not practical, as the goal is to benefit from maximum solar incidence. It's also important to install the modules as close as possible to the final consumption location to save on energy loss during transmission and material expenses (da Silva Lemos; Ramos, 2020). The panels can be installed on poles, as shown in Figure 1, on parking lot roofs, among other locations, not exclusively on residential or commercial roofs. The key is to have them in higher areas without shadow incidence.

Three basic principles confirm the effectiveness of installing a solar energy absorption system, namely: orientation, area, and inclination. If these three factors are ignored, the system won't operate at maximum efficiency because solar absorption and the appropriate sharing of energy will be affected (Torres, 2012).

Determining the right orientation is crucial to optimize the system so that the panels remain exposed to solar incidence for the maximum possible time. This way, they'll be able to capture the greatest amount of solar energy (Scherer, 2015).

In the southern hemisphere, the most advantageous orientation for the set of solar panels is geographical north, which differs from the magnetic north indicated by a compass by an angular difference ranging between 20° and 30°. Although systems oriented to the west or east are effective at certain times of the year, they provide much lower gains compared to those oriented to the north over the entire year. East-oriented systems lose irradiation in the afternoon, while west-oriented systems lose irradiation in the morning (Dassi, 2015).

Local weather conditions also influence the effectiveness of solar panels. Cloudy mornings and/or evenings, along with seasons of heavy fog or dust, reduce radiation incidence, resulting in an energy production loss. Therefore, taking into account the best position of the panels concerning the seasons helps minimize these losses, considering the best position for the whole year (Maciel, 2006).

Therefore, besides considering the north orientation, it's essential to take into account the ideal slope when calculating the solar panel array since a steeper incline will have better performance in winter, while a gentler slope will yield better results in summer. If needed, slight adjustments can be made towards east or west (Madeira, 2008).

Generally, roofs of houses (roofs and slabs) remain the most conducive locations for solar panels. This is because they fit well without occupying additional space, harmonize with the local masonry, and can easily have their inclination adjusted using metal structures (Maciel, 2006).



Figure 1 – Poles with solar panels on the Metropolitan Arc of the State of Rio de Janeiro

Source: Lins, 2016.

Also, the angle of inclination used for installation needs to be optimized taking into account environmental factors, such as dust and dirt accumulation. In recent years, many theoretical and experimental studies have been conducted to maximize the energy benefits of solar panel-based systems. Sado, A., Hassan, and Sado, S. (2021) conducted an experimental study where they mathematically calculated the daily, monthly, and seasonal inclination angles and measured the incident radiation on the panel's surface. Li et al. (2017) developed a simulation model to determine the optimal inclination angle for solar panels in different climatic regions of China. Melhem and Shake (2023) utilized a mathematical model based on latitude and longitude to calculate the optimum inclination angle and compared the results with an online software providing international solar maps. Liu et al. (2018) applied a solar radiation model to optimize the inclination angle of rooftop solar panels, considering factors such as latitude, solar radiation, and roof area. Hachicha, Al-Sawafta, and Said (2019) conducted studies on the accumulation of dust on solar panels in the United Arab Emirates due to their inclination angle. Simsek, Willians, and Pilon (2021) investigated the impact of droplets on the performance of photovoltaic cells caused by droplet condensation or rain that falls on the panel surface.

Therefore, the optimal inclination angle for the installation of solar panels depends not only on the panel's location, latitude, and longitude but also on various environmental factors such as dust and dirt accumulation, which should be considered during their installation.

## ANGULAR DEMAND DETERMINATION

Taking into account the longitude and latitude coordinates, it is established that the solar hour angle ( $W$ ) is an angular variant that is null when the local solar time is at noon.

According to Campos (2013), considering that the Earth rotates  $15^\circ$  every hour, which is equivalent to  $360^\circ/24$ , then the solar hour angle will be:

$$W = (12 - T) \cdot 15^\circ \quad (1)$$

Where:

$W$  = solar hour angle (result in degrees)

$T$  = local solar time ( $T$  varies between 0 and 24h).

According to Campos (2013), it is necessary to calculate the solar inclination to establish the angle that the solar panel should have throughout the year, considering that the imaginary tilt of the Earth's axis affects the zenith angle ( $\theta_Z$ ) at different latitudes. Taking into account the Equinox and Solstice days, which mark the beginnings of the seasons in both hemispheres, and the true solar noon, which occurs at the exact moment of the sun's rays at the observer's meridian, and that there is a seasonal change in the planet's axis tilt of  $23^\circ 27'$  (about  $23.45^\circ$ ) in relation to the normal to the plane of the ecliptic, the solar slope observed by an observer on Earth's equator on a specific day of the year ( $J$ ) is given by the following equation:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ 360 \cdot \frac{(J - 80)}{365} \right] \quad (2)$$

Where:

$\delta$  = value of solar inclination, in degrees.

$J$  = indicates the order number of the days, considering  $J = 1$  on the first of January, always taking February as 28 days, resulting in 365 days in the year.

As the planet performs its orbital movement around the sun, the tilt of the Earth's imaginary axis in the direction of the line connecting the Sun to Earth changes. This results in solar radiation incidence at any region, at angles that vary considerably throughout the year. Equation 2 precisely demonstrates the variation of the angle over the year, assuming the standard solar convergence at the terrestrial equator, at noon, and over the year as the variable  $J$  changes.

According to Varejão-Silva (2006), the solar convergence angle on the solar panel system changes throughout the year, according to the solar altitude, requiring a specific inclination for optimal use of sunlight. However, most solar panels installed today use the roof slope angle due to a lack of knowledge, installer convenience, or material savings, considering the expense of additional hardware for panel assembly. In addition to better utilizing the panels' energy potential, the proper positioning of the system can reduce undesired effects and wind.

This study proposes establishing the best average annual angle, considering the solar panels are fixed in the installation site, and it is not advisable to install panels at an angle lower than  $15^\circ$  to prevent dirt accumulation. This can be seen in Equation 4, a

variation of the equation used in (Medeiros & Martins, 2020).

$$|M| = \frac{\left(\varphi + \frac{\varphi}{3}\right) + \left(L - \frac{L}{3}\right)}{2} \quad (4)$$

Where:

M = average annual angle

$\varphi$  = latitude

L = longitude

This equation is being proposed because, as Duarte et al. (2015) mention, longitude must be considered when calculating the angle of the solar panels to adjust the tilt angle, thus avoiding the effects of dust accumulation, dirt, and other undesired impacts while ensuring the best possible solar exposure for the installation site.

The proposed equation has been implemented in the InclinaSol app (Gomes, Oliveira, & Musci, 2022) for calculating the tilt of fixed solar panels, using latitude and longitude information for the installation site.

## THE DEVELOPMENT OF THE INCLINASOL APP

The app allows the calculation of the solar panel tilt angle based on Equation 4. It requires the input of latitude and longitude of the solar panel installation site. The app locates the provided geographic coordinates on a map and computes the optimal tilt angle.

Built with HTML5 and the React Native framework (Meta, 2022), the app is designed for the Android® platform, utilizing the Google Geocoding Application Programming Interface (API) (Google, 2022). According to Venteu (2018), the use of this API provides significant advantages to developers, particularly in presenting geographic information on a smartphone screen. This visual representation is crucial since numerical latitude and longitude references can be challenging for app users to interpret.

Figure 2 illustrates (a) the initial screen of the InclinaSol app and (b) the display of the recommended angle for the solar panel installation at a specific geolocation.



Figure 2 - (a) displays the initial screen of the InclinaSol app, while (b) shows the indication of the optimal angle for solar panel installation based on the provided geographical coordinates.

Source: Author, 2022.

## METHODOLOGY

To create benchmarks at specific locations, three neighborhoods in the city of Rio de Janeiro were defined as case studies, which are reasonably distant from each other: Guaratiba, Deodoro, and Copacabana. Their locations are listed in Table 1.

| LOCAL      | LATITUDE     | LONGITUDE    |
|------------|--------------|--------------|
| Deodoro    | – 22,849999° | – 43,379999° |
| Guaratiba  | – 22,986950° | – 43,611775° |
| Copacabana | – 22,969629° | – 43,185329° |

Table 1 – Latitude and longitude values of three locals in the city of Rio de Janeiro

Source: Google Maps (n.d.). [Rio de Janeiro].

The validation of the case study using the InclinaSol application will involve comparing the obtained results with the values of solar incidence on the surface of the solar panels, acquired using the RadiaSol application developed by Krenzinger et al. (1997) at the Solar Energy Laboratory of the Federal University of Rio Grande do Sul. The study considers that all houses in the studied neighborhoods have roofs with a 17° inclination, as indicated by Nascimento et al. (2016) as the average slope of Brazilian roofs.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

With the use of the InclinaSol application for each of the selected neighborhoods within the city of Rio de Janeiro, the results are listed in Table 2.

| LOCAL     | Annual angular average |
|-----------|------------------------|
| Deodoro   | 29,693332°             |
| Guaratiba | 29,861892°             |
| Copacaban | 29,708196°             |

Table 2 – Values of the annual average angle obtained using the InclinaSol application

Source: Author, 2021.

The comparison with the RadiaSol application is shown in Table 3 for the Deodoro district, in Table 4 for the Guaratiba district, and finally in Table 5 for the Copacabana district. In all tables, the analysis was considered for four angles, one being a horizontal plane (0°), and three inclined planes. Of the inclined planes, the first corresponds to the value of the average inclination of Brazilian roofs (17°), the second is the same value (30°) obtained by the InclinaSol application, and the last one is a much steeper angle (45°) to evaluate the effects of an increased angle of inclination.

| Average Daily Solar Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> .day) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Angle                                                    | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | June | July | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Average |
| 0°                                                       | 5,33 | 4,74 | 5    | 5,02 | 5,16 | 5,13 | 5,03 | 5,52 | 5,47 | 5,41 | 5,48 | 5,05 | 5,19    |
| 17°                                                      | 5,35 | 4,90 | 4,87 | 4,65 | 4,39 | 4,02 | 4,04 | 5,26 | 5,07 | 5,32 | 5,42 | 5,46 | 4,89    |
| 30°                                                      | 5,59 | 4,62 | 4,6  | 4,35 | 4,29 | 4,11 | 4,31 | 4,53 | 4,86 | 5,68 | 5,89 | 5,96 | 4,90    |
| 45°                                                      | 4,59 | 4,13 | 3,95 | 3,3  | 2,56 | 2,21 | 2,55 | 3,34 | 3,96 | 4,49 | 4,88 | 4,75 | 3,72    |

Table 3 – Average daily solar radiation – Deodoro/RJ

Source: UFRGS, 2021 – Data obtained from the RadiaSol application

| Average Daily Solar Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> .day) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Angle                                                    | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | June | July | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Average |
| 0°                                                       | 5,33 | 4,43 | 5,08 | 5,02 | 5,36 | 5,13 | 5,13 | 5,62 | 5,97 | 5,42 | 5,42 | 5,48 | 5,28    |
| 17°                                                      | 5,36 | 4,90 | 4,97 | 4,26 | 4,42 | 4,05 | 4,58 | 5,09 | 5,15 | 5,02 | 5,83 | 5,12 | 4,89    |
| 30°                                                      | 5,29 | 4,92 | 4,87 | 4,87 | 3,94 | 3,97 | 4,59 | 4,59 | 4,88 | 5,59 | 5,91 | 5,49 | 4,91    |
| 45°                                                      | 4,59 | 4,14 | 3,96 | 3,34 | 2,63 | 2,29 | 2,65 | 3,42 | 4,00 | 4,50 | 4,88 | 4,74 | 3,76    |

Table 4 – Average daily solar radiation – Guaratiba/RJ

Source: UFRGS, 2021 – Data obtained from the RadiaSol application

| Average Daily Solar Irradiance (kWh/m <sup>2</sup> .day) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Angle                                                    | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | June | July | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Average     |
| 0°                                                       | 5,51 | 5,43 | 5,11 | 4,45 | 4,54 | 3,88 | 4,13 | 5,07 | 4,78 | 5,07 | 5,12 | 5,47 | <b>4,88</b> |
| 17°                                                      | 5,56 | 5,52 | 5,18 | 4,43 | 3,63 | 3,34 | 3,59 | 4,56 | 4,81 | 5,12 | 5,20 | 5,54 | <b>4,71</b> |
| 30°                                                      | 5,55 | 5,67 | 4,98 | 4,99 | 4,81 | 3,98 | 3,92 | 3,97 | 4,89 | 5,11 | 5,22 | 5,65 | <b>4,90</b> |
| 45°                                                      | 4,95 | 4,70 | 4,06 | 3,09 | 2,16 | 1,76 | 1,88 | 2,67 | 3,53 | 4,25 | 4,49 | 4,90 | <b>3,54</b> |

Table 5 – Average daily solar radiation – Copacabana/RJ

Source: UFRGS, 2021 – Data obtained from the RadiaSol application

Permitting data analysis revealed that the highest average solar radiation occurred at the 0° angle, reaching 5.28 kWh/m<sup>2</sup>, 5.28 kWh/m<sup>2</sup>, and 4.88 kWh/m<sup>2</sup> for the neighborhoods of Deodoro, Guaratiba, and Copacabana. Although panels installed horizontally, at 0° angle, can capture higher solar radiation (on average), tilts below 10° might accumulate debris and should be avoided. At angles of 17° and 30°, the average value for the three locations analyzed ranged between 4.71 kWh/m<sup>2</sup> and 4.90 kWh/m<sup>2</sup>. The lowest observed value was at the 45° angle, which showed the poorest average for the three locations under study, ranging between 3.54 kWh/m<sup>2</sup> and 3.76 kWh/m<sup>2</sup>.

Comparing the lowest observed solar radiation value with the highest, there was approximately a 28% reduction for the three locations concerning the 0° angle (highest observed solar radiation). This demonstrates that an angle significantly different from the solar rays does not absorb solar radiation as efficiently as smaller angles.

Given that tilt is a factor in determining the effective power of the solar panel system, a panel with a 0° tilt would be the most efficient in utilizing solar energy. However, this angle is more prone to accumulate dust, dirt, and raindrops, which could compromise the system's efficiency over time.

The 17° angle, the same as the roof slope, exhibits almost the same average annual radiation in kWh/m<sup>2</sup> as the 30° angle, with a maximum variance of 3.9% for the Copacabana neighborhood. This suggests that both tilts (17° and 30°) would be equally advisable for better utilization of solar energy. Once again, the challenge remains that a solar panel with the same inclination as the roof also favors the accumulation of dirt, dust, and raindrops, compromising the system's effectiveness over time. Hence, the angle calculated by the InclinaSol app (obtained by equation 4), approximately 30° as presented in Table 2, is the most suitable to mitigate undesired effects that could hinder solar panel efficiency.

## FINAL CONSIDERATIONS

This article developed an application based on a mathematical model to determine the optimal tilt angle to maximize the total incident solar radiation on a solar panel. The application takes into account the undesired effects to avoid the accumulation of dust, dirt,



and raindrops on the solar panels. Subsequently, the results were tested and validated through the RadiaSol software in a case study conducted in three different locations in the city of Rio de Janeiro.

Based on the data provided by the InclinaSol application, it was concluded that the best angle for installing solar panels results in increased efficiency and higher electrical energy productivity. This verifies the importance of solar panel positioning for optimal utilization of the installed system's potential.

## REFERENCES

- CAMPOS, M. S. (2013). Programa para o cálculo da variação da direção de incidência dos raios solares ao longo do ano. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 41., Gramado. Available at: <[https://turing.pro.br/anais/COBENGE-2013/pdf/117056\\_1.pdf](https://turing.pro.br/anais/COBENGE-2013/pdf/117056_1.pdf)>. Accessed on: 17 Sep. 2020.
- DA SILVA LEMOS, L., & RAMOS, M. (2020). Aplicação do Sistema Tracker em estruturas de Rastreo Solar. *Boletim do Gerenciamento*, 16(16), 60-74. Available at: <<http://www.nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento>>. Accessed on: 23 Jul. 2020.
- DASSI, J. A., ZANIN, A., BAGATINI, F. M., TIBOLA, A., BARICHELLO, R., & MOURA, G. D. de. (2015). Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Custos, 22., Foz do Iguaçu. Available at: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>>. Accessed on: 02 Feb. 2022.
- DUARTE, D. M. M., SILVA, F. E. M. da, & NETO, J. A. do N. (2015). Sistema seguidor solar microcontrolado. *Revista Principia*, 27. [Online] Available at: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/viewFile/538/323>>. Accessed on: 10 Mar. 2022.
- GOMES, A., OLIVEIRA, M. F. do N., MUSCI, M. *InclinaSol*, version 1.0. Aplicativo para o cálculo do ângulo de inclinação solar [Mobile application], 2022.
- GOOGLE. Geocoding API, version 3.4, 2022.
- HACHICHA, A. A., AL-SAWAFTA, I., & SAID, Z. (2019). Impact of dust on the performance of solar photovoltaic (PV) systems under United Arab Emirates weather conditions. *Renewable Energy*, 141, 287-297. [Online] <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.004>
- KRENZINGER, A., COPETTI, J.B., WAGNER, J. A., CHENLO, F., & BALENZATEGUI, J. L. SOLARCAD: A Windows Based Software for Solar Energy System Design and Simulation. In: *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 13., Nice, France, 1995. [Online] Available at: <<https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A213152649/Thirteenth-European-Photovoltaic-Solar-Energy-Conference/>>. Accessed on: 10 Mar. 2022.
- LI, X., PENG, J., LI, N., WANG, M., & WANG, C. (2017). Study on Optimum Tilt Angles of Photovoltaic Shading Systems in Different Climatic Regions of China. *Procedia Engineering*, 205, 1157-1164. [Online] <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.185>

LINS, M. N. (2016, November 24). Arco Metropolitano tem 4 mil postes de iluminação sem necessidade, segundo DNIT. *Jornal Extra*. [Online] Available at: <<https://extra.globo.com/noticias/rio/arco-metropolitano-tem-4-mil-postes-de-iluminacao-sem-necessidade-segundo-dnit-20529444>>. Accessed on: 28 Feb. 2022.

LIU, H., XU, X., MENG, Y., YU, D., LIU, H., & SHI, K. (2018). A Research for the Influence of Tilt Angles of the Solar Panel on Photovoltaic Power Generation. In: *International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*, Kajang, Malaysia, 95-100. [Online] <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2018.8556655>

MACIEL, M. J. (2006). *Vitrúvio: Tratado de Arquitectura*. Lisboa: IST – Instituto Superior Técnico. ISBN 978-9728469443.

MADEIRA, M. O. (2008). Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal. *Dissertação (Mestrado em Engenharia)* – PROMEC/UFRGS, Porto Alegre. [Online] Available at: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14737/000668141.pdf>>. Accessed on: 24 Aug. 2021

MEDEIROS, C. A., & MARTINS, A. M. (2020). Geometria sol-terra: revisão didática com ênfase no hemisfério sul e direcionada pela ABNT NBR 10899:2013. In: *Congresso Brasileiro de Energia Solar, 8.*, Fortaleza. [Online] Available at: <<https://anaiscbens.emnuvens.com/cbens/article/view/747/747>>. Accessed on: 10 Mar. 2020.

MELHEM, R., & SHAKER, Y. (2023). Optimum Tilt Angle and Solar Radiation of Photovoltaic Modules for Gulf Collaboration Council Countries. *International Journal of Energy Research*, 17. <https://doi.org/10.1155/2023/8381696>

META, Microsoft Corporation. *React Native*, version 0.70. Develop applications [Software]. 2022.

MONTALVÃO, E. (2009). Impacto de Tributos, Encargos e Subsídios Setoriais Sobre as Contas de Luz dos Consumidores. *Centro de Estudos da Consultoria do Senado Federal. Texto Para Discussão nº 62*. Brasília: Senado Federal. [Online] Available at: <<http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/estudos/montalvao1.pdf>>. Accessed on: 02 Jul. 2020.

NASCIMENTO, A.V., BONO, G.F.F., & BONO, G. (2016). Estudo computacional de edificações com diferentes inclinações de telhado. *Mecânica Computacional, Córdoba*. [Online] Available at: <<http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/5125/5057>>. Accessed on: 28 Feb. 2021.

SADO, K. A., HASSAN, L. H., & SADO, S. (2020). Photovoltaic panels tilt angle optimization. In: *International Conference on Renewable Energy (ICREN 2020)*, 239(19), 8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123900019>

SCHERER, L. A., et al. (2015). Fonte Alternativa de Energia: energia solar. In: *Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão, 20.*, Cruz Alta. [Online] Available at: <<https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAIS/Graduacao/Graduacao%20-%20Resumo%20Expandido%20-%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Ambientais/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>>. Accessed on: 30 Jan.

# CAPACITAÇÃO TÉCNICA PARA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Marcelo Musci**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

### **Ian Suzano Marques de Sousa**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

### **Luis Eduardo Casemiro**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

### **Carlos Augusto Cruz da Silva**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

### **Marcos de Souza Freitas Machado**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

### **George Silva Cardoso Filho**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rio de Janeiro - Brasil

**RESUMO:** A ausência de ferramentas na área de automação e controle de sistemas elétricos industriais pode dificultar o aprendizado que necessitam desses conhecimentos. Em muitos casos os estudantes sentem-se desmotivados por não conseguirem visualizar aplicações

práticas acerca dos conhecimentos teóricos adquiridos. Uma das formas de se evitar esses problemas é com a utilização de protótipos, que visem permitir ao aluno colocar em prática conhecimentos teóricos e obter uma visão interdisciplinar do curso, principalmente em ambientes industriais, além de estimular a curiosidade científica e incentivar a busca do conhecimento. Diante do exposto, o projeto de Capacitação Técnica para Automação Industrial foi concebido para que os alunos adquiram conhecimentos práticos em equipamentos elétricos e automação industrial, possibilitando com isso não só o autoconhecimento mas também o benefício da construção das bancadas didáticas para a capacitação da comunidade acadêmica, permitindo conhecimentos práticos da automação industrial com o emprego de dispositivos de controle automáticos e sensores do mesmo tipo utilizados em ambientes industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** bancadas didáticas, controle de motores, CLP, automação.

**ABSTRACT:** The absence of tools in the field of automation and control of industrial electrical systems can hinder the learning process for those who require this

knowledge. In many cases, students feel demotivated because they cannot visualize practical applications related to the theoretical knowledge acquired. One way to avoid these problems is through the use of prototypes, aiming to allow students to apply theoretical knowledge and gain an interdisciplinary view of the course, especially in industrial environments. This approach also stimulates scientific curiosity and encourages the pursuit of knowledge. In light of the above, the Technical Training Project for Industrial Automation was conceived to enable students to acquire practical knowledge in electrical equipment and industrial automation. This not only facilitates self-discovery but also contributes to the construction of didactic benches for the training of the academic community. It enables practical knowledge of industrial automation using automatic control devices and sensors of the same type used in industrial environments.

e sensores do mesmo tipo utilizados em ambientes industriais. Serão projetados e construídos dois sistemas elétricos a serem instalados nas bancadas didáticas, possibilitando assim trabalhar os conteúdos de comandos de máquinas elétricas e automação industrial com o uso de CLP.

**KEYWORDS:** teaching benches, motor control, PLC., automation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Quando se considera a vocação da Zona Oeste em relação a outras áreas do município do Rio de Janeiro, predomina uma especialização em atividades industriais, com uma expansão industrial superior à média observada em outras regiões da cidade. Dentre as diversas empresas distribuídas por quatro regiões administrativas: Bangu, Campo Grande, Realengo e Santa Cruz, muitas são do setor industrial, destacando-se empresas de grande porte do setor metal-mecânico e siderúrgico como CSA- Thyssen Krupp, Gerdau Cosigua, Valesul, White Martins, Glasurit e Michelin.

A busca de profissionais na área de tecnologia é uma realidade nas instituições de ensino médio e superior. Entretanto há uma grande necessidade de uma melhor qualificação dos discentes visando a sua inserção no mercado de trabalho. Atualizar o conhecimento constantemente é primordial na formação dos alunos. Para isso, além do interesse do aluno, é importante o investimento da Instituição em sua infraestrutura.

A constante concorrência exige que os profissionais saiam das universidades cada vez mais preparados para atuar da melhor forma possível no mercado de trabalho, não havendo tempo para adaptações longas e aprendizagens básicas. O domínio da tecnologia é um ponto determinante para o bom desempenho no mercado e está diretamente ligado ao conhecimento prático adquirido durante a formação.

No sentido de reverter a situação descrita o presente artigo propõe a capacitação técnica em automação industrial para os alunos de ensino superior da Faculdade de Ciências Exatas e Engenharias (FCEE) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro campus Zona Oeste (UERJ-ZO), com a criação do projeto de ensino nas dependências do Laboratório de Modelos Reduzidos (LMR) da UERJ-ZO, financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa

do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). O projeto através da facilitação da aprendizagem de conceitos teóricos e práticos visa não somente o apoio as aulas teóricas ministradas, mas também suprir a carência de mão de obra especializada em conceitos de automação e capacitação dos discentes para o Parque Industrial da Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro. Além de promover uma maior interação entre a comunidade da Zona Oeste e a comunidade acadêmica da UERJ-ZO com a oferta de cursos de extensão. Outrossim, o projeto tem a oportunidade de oferecer aos discentes do curso superior de Engenharia de Produção da FCEE, a capacitação em automação industrial, preparando-os para oferecer serviços relacionados ao novo conceito de Indústria 4.0.

Diante dos novos conceitos industriais em renovação tecnológica que faz uso de equipamentos automatizados para a supervisão, controle e principalmente o gerenciamento das instalações, a automação está intrinsicamente associada aos equipamentos que controlam os processos de produção. Diante disso, torna-se de suma importância o conhecimento e os métodos de comandos dos motores elétricos no meio industrial. Ainda no âmbito da automação, o Controlador Lógico Programável (CLP) ou do inglês PLC (*Programmable Logic Controller*), é Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), “um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais”. O seu desenvolvimento foi essencial para a substituição de equipamentos eletromecânicos, particularmente temporizadores e relês, sendo necessário serem programados para exercerem suas funções. O CLP é capaz de controlar sistemas automatizados, utilizando instruções armazenadas em uma memória programável interna, que implementa funções de controle específicas (Parede e Gomes, 2011). Sua programação é realizada mediante algumas linguagens definidas pela norma técnica IEC 61131- 3:2003, sendo a linguagem *ladder* a mais utilizada, estando presente praticamente em todos os CLPs dos diversos fabricantes.

No setor industrial são utilizados sistemas automáticos ou semiautomáticos de controle e intertravamento de máquinas, mediante painéis elétricos de automação monitorados a partir de um sistema supervisão, também denominado SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), realizam o monitoramento de um processo produtivo, coletando dados e rastreando informações importantes, como a atualização das variáveis da planta em tempo real. Além disso, estes sistemas possibilitam o controle do processo ligando ou desligando atuadores, alterando malhas de controle e a operação dos equipamentos sem depender de um nível intermediário de controle. Possíveis demandas para qualificação dentro do paradigma da Indústria 4.0 mostram a importância da qualificação e do desenvolvimento de recursos humanos em um futuro próximo. Sendo assim, a capacitação técnica de recursos humanos deve abranger diversas categorias de habilidades (Garcia Junior, 2019).

A utilização de CLPs em conjunto com um sistema supervisão possibilita efetuar o monitoramento de diversas grandezas como geradores, velocidade de motores de propulsão, viscosidade de óleo, temperatura de gases, controle de níveis, abertura e

fechamento de válvulas e diversos outros sistemas essenciais. Igualmente é possível o controle de um sistema elétrico automático sem a ajuda do CLP, utilizando-se painéis puramente de comandos elétricos, que são constituídos de dispositivos cuja função é a proteção de circuitos, e de dispositivos que controlam os equipamentos, recebendo e enviando valores para o sistema. Esses dispositivos, conforme descritos por Prudente (2020), são constituídos por contadores, relés, chaves, botoeiras, fusíveis, disjuntores, sensores entre outros. No âmbito do projeto e com a utilização de equipamentos financiados pela FAPERJ, torna-se possível a capacitação dos discentes no conhecimento sobre o tema Capacitação Técnica para Automação Industrial.

## **2 | ACIONAMENTO DE MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICOS**

Para instalações elétricas de motores trifásicos devem ser analisados fatores que ofereçam danos ao funcionamento de seus circuitos elétricos de acionamentos. A aplicação de um método adequado de partida é uma solução de forma a garantir um bom funcionamento do circuito elétrico, melhorar o rendimento do motor, prolongar sua vida útil, proporcionar segurança, além de reduzir os custos operacionais (Creder, 2016).

### **2.1 Motores de Indução**

O motor de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo é formado por duas partes distintas, sendo elas o estator, componente que recebe a tensão oriunda da rede elétrica, e o rotor, componente móvel onde se origina a tensão induzida pelo estator.

Para entender o comportamento dos motores de indução, é importante saber sobre o princípio de funcionamento e as principais equações que os regem. É imprescindível também conhecer as características nominais. No entanto, somente esses fatores não são garantias para a segurança do motor e do circuito em que o motor será instalado, é preciso conhecer as diversas maneiras de acionamento dessas máquinas para determinar a carga a ser acionada.

Dentre algumas formas de acionamento de motores de indução, do tipo gaiola de esquilo, as mais importantes são: partida direta; partida indireta por estrela-triângulo; além dos acionamentos mais modernos por meio de equipamentos eletrônicos como o inversor de frequência e por intermédio do Controlador Lógico Programável (CLP).

### **2.2 Partidas de Motores Elétricos Trifásicos**

#### *2.2.1 Partida Direta*

Representa um acionamento simples e fácil de ser executado, pois não precisa de

dispositivos auxiliares, bastando conectar os terminais de fase do motor diretamente ao Sistema trifásico proveniente das instalações elétricas. Em virtude dessas características a partida direta é encontrada tanto em instalações industriais quanto em instalações residenciais. No entanto, deve-se tomar cuidado nesse tipo de partida devido à corrente de pico apresentada no instante inicial do acionamento.

### 2.2.2 *Partida Estrela-Triângulo*

Este tipo de acionamento ocorre quando um motor é ligado na configuração estrela, de seus terminais e após certo período em que o motor atinge sua velocidade nominal, a ligação dos terminais é convertida em triângulo assumindo a tensão nominal da rede elétrica. Para que isso ocorra, o motor precisa ter no mínimo seis terminais de ligação.

### 2.2.3 *Partida com Inversor de Frequência*

O uso do equipamento inversor de frequência permite alterar a frequência de alimentação do motor de indução, com a finalidade de controlar a velocidade, o conjugado e também o sentido de rotação do motor. Nos bornes de entrada do inversor, é inserida uma tensão alternada (CA) fixa de alimentação, sendo convertida em uma saída CA de tensão e frequência variáveis.

### 2.2.4 *Partida com CLP*

O uso de CLPs para acionamento de motores é bastante difundido atualmente. O CLP executa instruções baseadas em um conjunto de entradas e saídas. As entradas do CLP recebem um sinal (digital ou analógico) do meio externo e em seguida é transmitido para o equipamento para que seja transformado em atividade no processo através de seus terminais de saída. Um CLP está dividido em três partes fundamentais, sejam quais:

Unidade central de processamento ou CPU (*Central Processing Unit*), tem a função de organizar todas as funções de controle e programação, suas características definem a performance de velocidade e potência do equipamento;

Unidade de entrada/saída: responsável por fazer a comunicação do CLP com dispositivos externos ao equipamento, como contadores, motores, sensores, botoeiras, etc.

Unidade de programação: é a responsável pela interface homem-máquina (IHM) por intermédio de teclados ou monitores. Pela IHM o usuário do equipamento tem acesso ao controle do CLP. A IHM é um periférico que pode ser um computador ou um dispositivo portátil composto por teclado e display. Além de enviar informações ao CLP, a IHM também pode enviar sinais de atuação e monitoração em tempo real (Franchi e Camargo, 2020).

O CLP pode ser programado de diversas formas, dependendo do tipo e fabricante do equipamento. Sendo a forma mais comum o uso da linguagem de programação Ladder ou diagrama Ladder. Esse diagrama foi uma das primeiras linguagens de programação criada

para que técnicos e engenheiros tivessem facilidade na elaboração de programas. O layout dessa forma de programação é fundamentado em esquemas elétricos e seu funcionamento baseado em instruções correspondente aos contatos normalmente abertos (NA) e contatos normalmente fechados (NF) dos relés (Prudente, 2013).

## 2.3 Aquisição de Dados

A coleta de dados refere-se à obtenção de informações para posterior armazenamento e uso, como análise de dados, controle e monitoramento de processos. Nas aplicações industriais, a aquisição de dados precisa ocorrer em tempo real, o que significa que o sistema deve ser capaz de coletar dados ou executar tarefas de controle dentro de uma janela de tempo aceitável. A duração dessa janela de tempo depende da rapidez necessária para a resposta do sistema, a qual está relacionada à velocidade e precisão requeridas para uma aplicação específica.

O dispositivo utilizado para coletar dados é conhecido como sistema de aquisição de dados. Este sistema é amplamente utilizado, sendo oferecido por vários fabricantes em pacotes mais ou menos padronizados. Ele combina o controle supervisorio e a aquisição de dados (SCADA - *Supervisory Control And Data Acquisition*), competindo em aplicações com sistemas digitais de controle distribuído (SDCD) ou controladores lógicos programáveis (CLP). Esse sistema atua como uma interface entre o ambiente real, composto por parâmetros físicos analógicos do processo, e o ambiente computacional, que é digital (Ribeiro, 1999).

## 3 | METODOLOGIA

O presente projeto tem como objetivo principal a construção de duas bancadas de controle e automação industrial de forma a realizar o treinamento e a capacitação na área de tecnologias para a automação industrial, incluído noções sobre a indústria 4.0. Além disso, agrega competências para o desenvolvimento de pesquisas experimentais que possibilitem aos discentes da UERJ-ZO uma visão mais ampla na área de automação industrial.

O projeto prevê como metodologia as etapas:

### 3.1 Desenho do Projeto de Trabalho

Todos os materiais elétricos e equipamentos serão adquiridos por intermédio da verba destinada a construção do Laboratório Didático de Comandos e Instalações Elétricas pela FAPERJ. Os esquemas de ligação elétrica serão confeccionados com a utilização do software CAdE SIMU 4.0.



### 3.2 Familiarização dos alunos com o tema

Descrição do material teórico e as tarefas a serem realizadas, como noções de funcionamento de equipamentos e peças, linguagem de programação ladder e softwares supervisórios;

### 3.3 Construção das Bancadas

Serão construídas duas bancadas. A primeira contendo vários módulos para partida de motores, elaborada para demonstração dos acionamentos manuais tipo partida direta, partida estrela-triângulo, reversão de motores trifásicos e controle de velocidade, através de inversor de frequência. A segunda bancada consiste de um módulo para demonstração dos acionamentos automáticos via Controlador Lógico Programável. Composto por um CLP, fonte de alimentação contadores e diversos dispositivos para acionamento de motores trifásicos. O objetivo deste módulo é a utilização do CLP como substituto de comandos elétricos para o intertravamento de máquinas e motores elétricos.

### 3.4 Sistema supervisório

Uso de um computador com sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) e um CLP modular com capacidade de desenvolvimento de projetos isolados ou interligados por redes industriais através dos protocolos *Ethernet* e *ModBus*. Objetivo: possibilitar o uso de equipamentos e acessórios necessários para confecção de um sistema elétrico industrial com a utilização de diversos tipos de sensores, para medição de temperatura, pressão, vazão, nível entre outros.

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura de cada bancada a ser construída em etapa posterior, é mostrada na Figura 1, onde em um painel confeccionado em madeira e pintado com tinta à base de poliéster serão instalados os equipamentos elétricos após a definição dos diagramas esquemáticos previstos neste trabalho. Cada painel possui medidas de 500mm de altura por 700 mm de largura. Sendo sustentados por uma estrutura de ferro galvanizado (metalon) de dimensões 40 x 30 mm e espessura de 1,6 mm, formando um suporte de comprimento de 800 mm soldada em ângulo de 70 graus com a base horizontal de 500 mm de comprimento. Toda a estrutura metálica deverá ser pintada com base metálica e tinta esmalte.

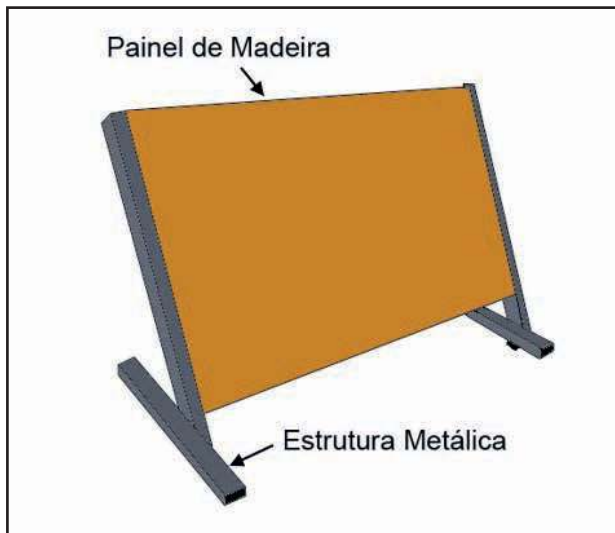


Figura 1: Estrutura para montagem das bancadas didáticas.

Fonte: Os autores (2022).

As especificações dos componentes principais a serem utilizados nos módulos das duas bancadas são mostrados na Tabela 1.

| Item | Material                                                          |
|------|-------------------------------------------------------------------|
| 1    | Fonte chaveada 120W 24V 5A                                        |
| 2    | Chave 14123 A1B1P1Q Liga/Desliga Alavanca 15A                     |
| 3    | Disjuntor TRIPOLAR PARA MOTOR 1,80-2,50A 3RV10211CA10             |
| 4    | Botão 22,5MM cogumelo vermelho com trava cromado E2 3603          |
| 5    | Rele de tempo multifunção 0,1 seg a 10 HRS TMF MA 24 A 240VCA-VCC |
| 6    | Relé de tempo RTW-ET ESTRELA/TRIANG. 3-30S 220V/24VDC             |
| 7    | Motor elétrico WEG CA 1CV 4 POLOS 220V 380V TRIFÁSICO             |
| 8    | Motor Elétrico Monofásico Aberto 1CV 2P 110/220V - NOVA           |
| 9    | Motor Elétrico Voges 0,75 CV/0,40 CV - Dahlander                  |
| 10   | Disjuntor tripolar para motor 03,50-05,00A 3RV10211FA10           |
| 11   | Fusível diazed retardado 6A 500V FDW-6S                           |
| 12   | Rele Térmico Sd293z2a 23-32a                                      |
| 13   | Contator 32A 2NA2NF 220V CT32-H5-322                              |
| 14   | Contator 32A 2NA2NF 110V CT32-E5-322                              |
| 15   | Contator AUXILIAR CA2-KN31 M7 220VCA 3NA1NF                       |
| 16   | Contator 12A 1NA 220V MINI CTM12H5310                             |
| 17   | Botão pulsador Nf e NA                                            |
| 18   | Botão de emergência sem retenção                                  |
| 19   | Sinaleiro 22MM COM LÂMPADA 110V                                   |

|    |                                                                    |
|----|--------------------------------------------------------------------|
| 20 | Chaves Comutadoras - CC e CA                                       |
| 21 | Chave estrela triângulo 3X30A 220V 10CV SECA TET30 SCHAK           |
| 22 | Inversor de frequência WEG CFW08 3cv 220V 10a Mono/Tri             |
| 23 | Controlador lógico programável CLW-02 20HR-A 3RD CLIC02 127/220VCA |
| 24 | Chave de Partida Direta - TBSP                                     |

Tabela 1: Especificações dos componentes principais utilizados.

A seguir serão descritas de forma resumida os módulos das bancadas.

- Módulo para partida de motores. Elaborado para demonstração dos acionamentos manuais tipo partida direta. O modelo didático será formado com algumas configurações de acionamentos elétricos, usando um motor de indução trifásico, tipo gaiola de esquilo. Seu objetivo é a demonstração dos acionamentos manuais tipo partida direta de motores trifásicos, partida estrela-triângulo e reversão de motores trifásicos. Instalação - Bancada 1.
- Módulo para acionamento automático e controle de velocidade, através de inversor de frequência. O objetivo é o controle de velocidade de motores e partida de motores em baixa velocidade. Instalação - Bancada 1.
- Módulo para demonstração dos acionamentos automáticos via Controlador Lógico Programável. Composto por um CLP, fonte de alimentação contadores e diversos dispositivos para acionamento de motores. O objetivo deste módulo é a utilização do CLP como substituto de comandos elétricos para o intertravamento de máquinas e motores elétricos. Instalação - Bancada 2.
- Computador com sistema supervisório ScadaBR® interligado ao CLP para controle dos processos desenvolvidos.

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho são os diagramas elétricos dos diversos dispositivos e equipamentos elétricos das duas bancadas propostas e as suas implementações físicas.

### 5.1 Diagramas Elétricos da Bancada 1

Na Figura 2 é mostrado o esquema de partida direta de motor, na Figura 3 temos a partida com reversão de motor sinalizada, na Figura 4 é mostrada a reversão de motor com temporização, na Figura 5 temos a partida de motor com chave estrela-triângulo e na Figura 6 a partida de motor com inversor de frequência.

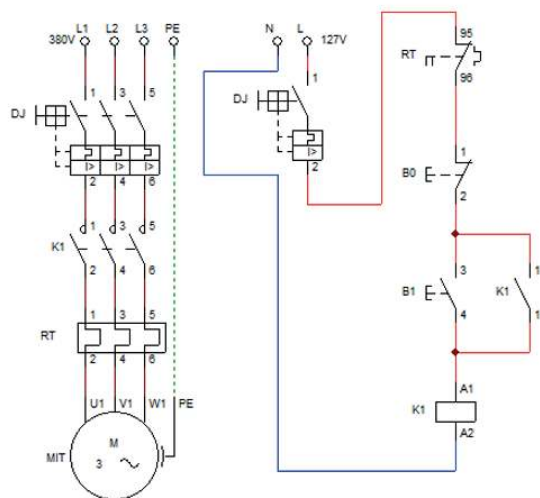


Figura 2: Partida direta de motor.

Fonte: Os autores (2023).

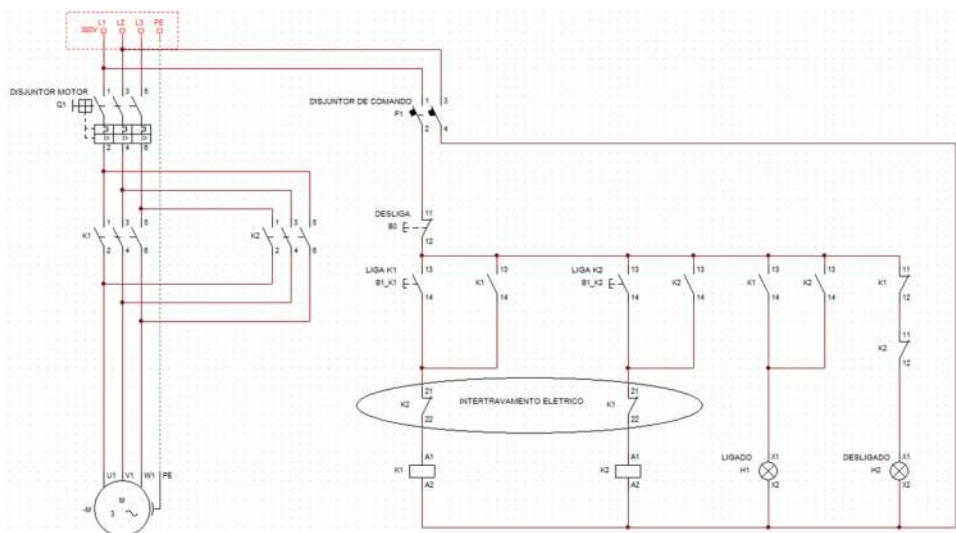


Figura 3: Partida reversão de motor sinalizada.

Fonte: Os autores (2023).

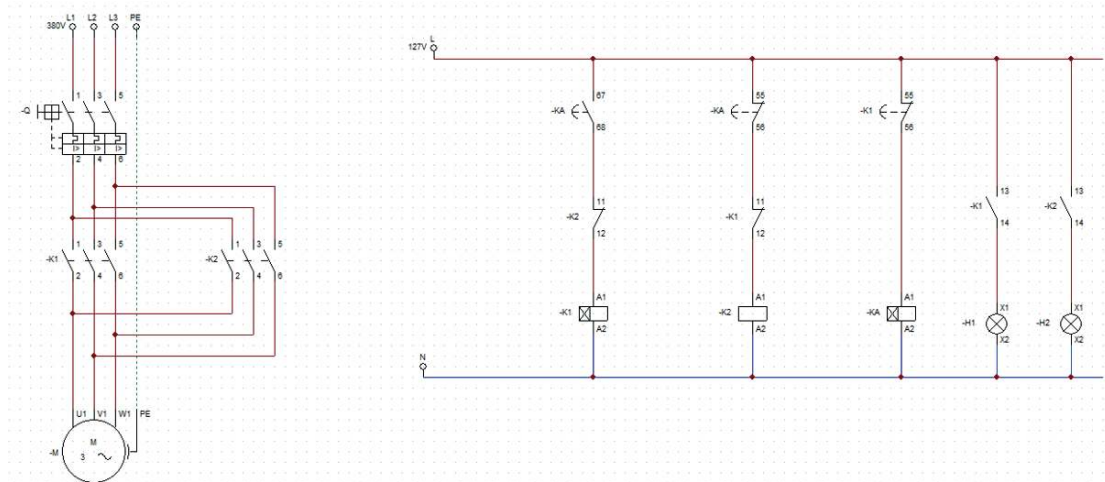


Figura 4: Partida reversão de motor com temporização.

Fonte: Os autores (2023).

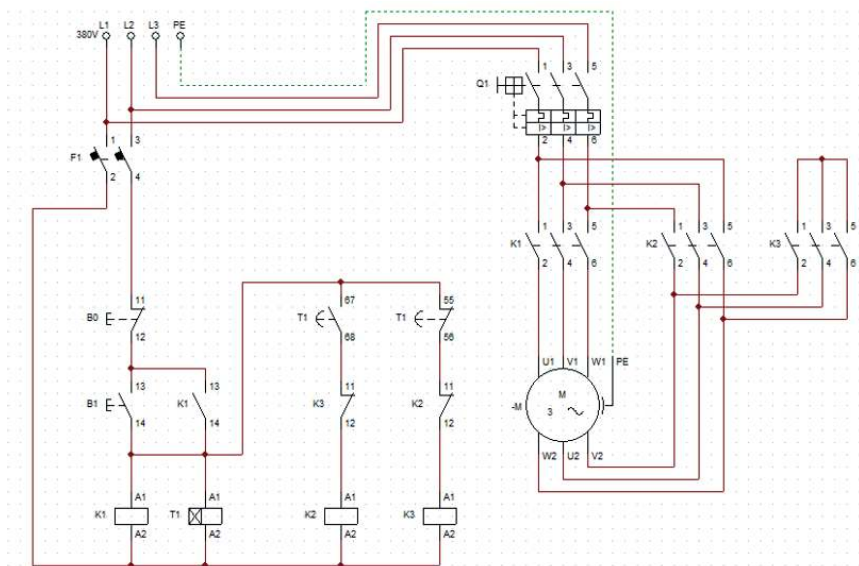


Figura 5: Partida de motor com chave estrela-triângulo.

Fonte: Os autores (2023).

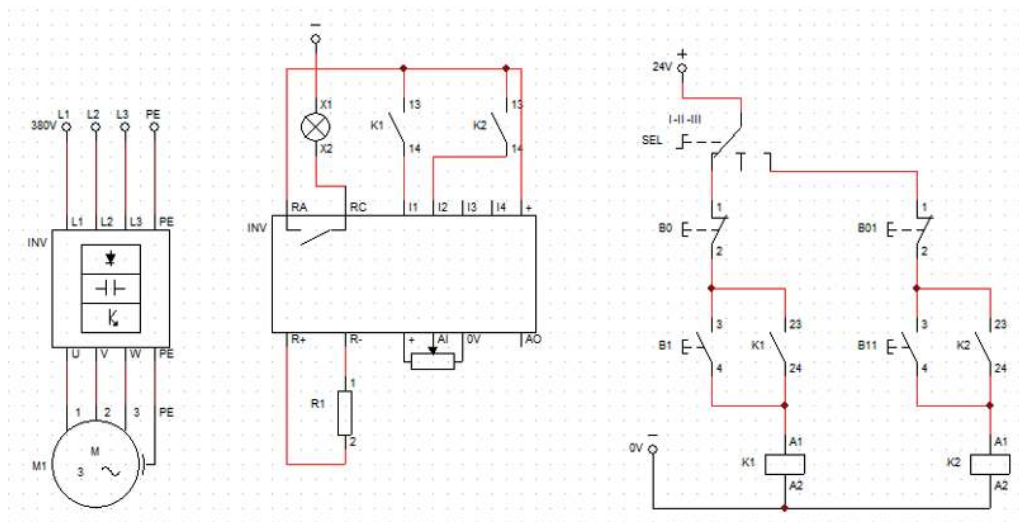


Figura 6: Partida de motor com inversor de frequência.

Fonte: Os autores (2023).

## 5.2 Diagramas Elétricos da Bancada 2

Na Figura 6 vemos o esquema de ligação para partida de motor com o CLP CLIC02 da WEG.

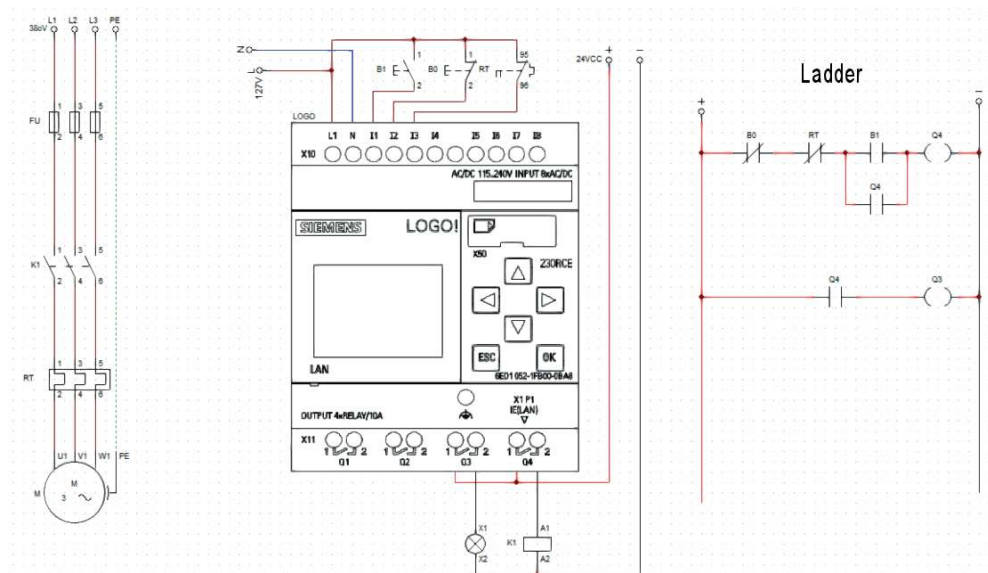


Figura 6: Partida de motor com CLP CLIC02 WEG

Fonte: Os autores (2023).

Na figura 7 são mostrados as bancadas construídas e os três tipos de motores utilizados para funcionamento, motor elétrico trifásico de 1/2 CV, motor elétrico monofásico de 1 CV e motor elétrico Dahlander de 0,75/040 CV.



Figura 7 – Bancadas didáticas para automação industrial.

Fonte: Os autores (2023).

Foram realizados diversos experimentos com partida de motores utilizando as bancadas projetadas.

Além disso, houve a criação de diversas palestras e cursos com o software CADe SIMU 4.0 ®, visando uma maior interação entre os discentes da universidade.

### 5.3 Partida Direta de Motores

A partida direta é relativamente a ligação mais simples dentre todas as partidas usadas para acionar os motores elétricos trifásicos, pois o motor recebe a alimentação diretamente da fonte de energia trifásica, e dependem apenas de dispositivos de seccionamento para interferirem diretamente no seu funcionamento, como por exemplo os disjuntores, relés térmicos ou contadores. Embora a partida direta seja simples e fácil de ser realizada, ela possui algumas características que devem ser observadas. A partida direta interfere diretamente no desempenho do motor trifásico e principalmente na rede elétrica onde o motor está instalado. O uso da partida direta é mais interessante em situações em que deseja obter o desempenho máximo do motor logo no momento da partida, uma das principais características a ser aproveitada é o torque de partida, mas dependendo da situação, é recomendado a aplicação da partida indireta.

O resultado obtido com esse tipo de acionamento mostrou uma corrente inicial de aproximadamente 15 amperes para o motor trifásico, durante um curto intervalo de tempo, até chegar a corrente nominal do motor de 4 amperes.

## 5.4 Partida com Reversão

A partida direta com reversão consistiu em aplicar ao motor elétrico 100% da tensão necessária para que ele funcione com potência total, esse tipo de partida fornece ao operador a opção de realizar a inversão de rotação do motor quando desejado.

A utilização de contadores, botoeiras e sinalizadores permitiu uma reversão do motor trifásico de forma manual e com sinalização do sentido de rotação.

O funcionamento foi simples funcionamento e possui baixa manutenção e alto torque na ponta do eixo, ou seja, potência máxima com a possibilidade de executar a inversão de rotação do motor quando necessário de forma rápida e segura.

Ressalta-se também a utilização de uma chave manual de reversão de motores trifásicos, apenas para ilustrar o funcionamento de forma manual.

As correntes de partida foram idênticas aos do caso anterior, ou seja, 15 amperes para o motor trifásico, durante um curto intervalo de tempo, até chegar a corrente nominal do motor de 4 amperes.

## 5.5 Partida Reversão de Motor com Temporização

Nesse experimento ao invés da utilização de botoeiras para reversão do motor, foi utilizado um relé temporizador para reversão de forma automática, sendo os resultados de corrente de partida semelhantes ao caso anterior.

## 5.6 Partida Estrela-triângulo

O princípio básico foi aplicar uma tensão menor, cerca de 220V em um fechamento estrela feito para 380V, até que o motor atingiu uma rotação nominal para então comutar para o fechamento em triângulo. Para essa partida de forma automática, o esquema elétrico contemplou 3 contadores para ligar o motor e um temporizador para a comutação do contador que fecha o motor em estrela para o que feche em triângulo.

Devido à complexidade do comando e a utilização recorrente dessa técnica de partida de motores, os fabricantes criaram temporizadores específicos para essa função.

Nesse experimento o temporizador foi ajustado em 5 segundo e o motor trifásico utilizado teve sua corrente de partida reduzida para 9 amperes antes de atingir a corrente nominal de 4 amperes.

Ressalta-se que neste experimento também foi utilizada a chave manual estrela-triângulo para comparação, obtendo-se os mesmos resultados de corrente.



## 5.7 Partida de motor com inversor de frequência.

Esse controle proporciona além da total flexibilidade de controle de velocidade sem grande perda de torque do motor, aceleração suave através de programação, sendo um aparelho eletrônico com a função de controlar a velocidade de um motor elétrico trifásico.

Para a partida com inversor de frequência, observou-se que ao acionar a botoeira, presente no painel do equipamento, o inversor aplicou de forma gradual valores de corrente no bobinado do motor, permitindo que ele saísse do seu momento de inércia de forma suave até atingir a rotação nominal. Observou-se que a aplicação de corrente foi em rampa. A rampa foi pré-programada nas configurações do inversor. No amperímetro analógico presente na bancada notou-se a mínima deflexão do seu ponteiro. A corrente apresentada em sua IHM foi de 1,3A. A tensão de alimentação permaneceu em 218 Volts.

Assim, ele garante que o motor trabalhe em diferentes velocidades, sem a necessidade do uso de meios mecânicos, como polias, válvulas e redutores.

## 5.8 Partida de Motor com CLP

O uso do CLP na partida do motor trifásico foi apenas para demonstração de sua funcionalidade e a familiarização com a linguagem *ladder* utilizada pelo dispositivo.

O CLP foi programado para acionar o motor trifásico em configuração de partida direta, o resultado obtido com esse tipo de acionamento mostrou uma corrente inicial de aproximadamente 15 amperes para o motor trifásico, durante um curto intervalo de tempo, até chegar a corrente nominal do motor de 4 amperes, de forma semelhante ao primeiro circuito analisado.

Observa-se que o CLP pode ser utilizado, com a configuração e programação adequada, para acionar um motor elétrico de diversas outras formas, como: partida estrela-triângulo e partida direta com reversão. O CLP também pode ser utilizado para o monitoramento, com o uso de sensores, em uma aplicação com sistema supervisório.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs a capacitação técnica em automação industrial direcionada à discentes de cursos superiores de área tecnologia, com a utilização de bancadas didáticas para acionamento de motores elétricos. O projeto propôs o desenvolvimento e a construção de duas bancadas didáticas. A primeira uma bancada para demonstração de diversas formas de acionamento de motores elétricos, como partida direta, partida estrela-triângulo, reversão de motores trifásicos e controle de velocidade com o uso de inversor de frequência. Dessa forma, a bancada projetada oferece a possibilidade de adaptar a forma de acionamento do motor trifásico de acordo com as necessidades.

A segunda bancada foi idealizada para demonstração de acionamentos automáticos

via Controlador Lógico Programável (CLP). Composto por um CLP, fonte de alimentação contadores e diversos dispositivos para acionamento de motores. O objetivo deste módulo é a utilização do CLP como substituto de comandos elétricos para o intertravamento de máquinas e motores elétricos. Além disso, existe a possibilidade de construção do sistema supervisórios, como a utilização do software ScadaBR®, fazendo a interface entre o CLP da bancada e o computador com o sistema instalado para controle de processos.

O uso dessas bancadas torna o processo de investigação e prática de sistemas elétricos completos, proporcionando assim, praticamente todas as características técnicas que seriam encontradas no sistema real. Convém ressaltar que a área de automação e controle de sistemas elétricos industriais tem exigido cada vez mais o desenvolvimento de métodos e ferramentas para a melhor formação de profissionais para o mercado de trabalho.

## REFERÊNCIAS

Creder, H. (2016). Instalações Elétricas (14ª ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Franchi, C. M., & Camargo, V. L. A. (2020). Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos (3ª ed.). São Paulo: ERICA.

Garcia Junior, E. (2019). Introdução a sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados – SCADA (1ª ed.). São Paulo: Alta Books.

Parede, I. M., & Gomes, L. E. L. (2011). Eletrônica: Automação Industrial (Vol. 6). São Paulo: Fundação Padre Anchieta.

Prudente, F. (2020). Automação Industrial - PLC: Programação e Instalação (2ª ed.). São Paulo: LTC.

Ribeiro, M. A. (1999). Automação Industrial (4ª ed.). Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda.

# CONTROLE DE TEMPERATURA PI APLICADO EM UMA ESTUFA ESTACIONÁRIA INDUSTRIAL

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Julio Santos Corrêa**

Faculdade Uniamérica Descomplica  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<https://lattes.cnpq.br/1893418842644624>

**Luciana Paro Scarin Freitas**

Profa. Dra. Faculdade Uniamérica  
Descomplica  
Foz do Iguaçu – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/2554057558293125>

**RESUMO:** Este trabalho descreve a implementação de um sistema de controle integral proporcional (PI) para controle preciso de temperatura em uma estufa industrial para cozimento de calabresa e bacon. Este estudo justifica-se pela importância crítica da temperatura no processo de cozimento na garantia da qualidade, segurança alimentar e eficiência operacional. A revisão da literatura destaca a eficácia do controle PI em sistemas dinâmicos e destaca a aplicabilidade do controle PI em ambientes industriais com requisitos específicos de temperatura. A estufa industrial em questão possui características especiais como: B. Sensibilidade às diferenças nos tempos de cozimento e às flutuações de calor. Esta

metodologia detalha a implementação de controles PI, incluindo sensores de temperatura e atuadores estrategicamente posicionados para ajustes instantâneos. Os parâmetros de controle são adaptados às características de cozimento do pepperoni e do bacon para obter uma distribuição uniforme da temperatura e garantir uma qualidade consistente do produto. Os benefícios esperados incluem a redução significativa das flutuações de temperatura durante o processo de cozimento, garantindo a conformidade com os padrões de segurança alimentar e aumentando a eficiência da produção. Espera-se que a implementação do controle de PI traga benefícios tangíveis, como redução do desperdício de matéria-prima e melhoria da uniformidade do produto. Este estudo não apenas fornece uma solução técnica para estufas industriais específicas, mas também fornece informações valiosas para o uso bem-sucedido do controle de PI no processo de cozimento de produtos cárneos. Os resultados podem ser aplicados a outras indústrias alimentícias que dependem de processos térmicos controlados para garantir a qualidade e segurança do produto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Padrões de produção.

## PI TEMPERATURE CONTROL APPLIED TO AN INDUSTRIAL STATIONARY OVEN

**ABSTRACT:** This work describes the implementation of a Proportional-Integral (PI) integral control system for precise temperature control in an industrial oven used for cooking sausage and bacon. The study is justified by the critical importance of temperature in the cooking process for ensuring quality, food safety, and operational efficiency. The literature review emphasizes the effectiveness of PI control in dynamic systems and highlights its applicability in industrial settings with specific temperature requirements. The industrial oven under consideration has special characteristics such as sensitivity to differences in cooking times and heat fluctuations. This methodology details the implementation of PI controls, including strategically positioned temperature sensors and actuators for instant adjustments. Control parameters are tailored to the cooking characteristics of pepperoni and bacon to achieve a uniform temperature distribution and ensure consistent product quality. Expected benefits include a significant reduction in temperature fluctuations during the cooking process, ensuring compliance with food safety standards, and increasing production efficiency. The implementation of PI control is anticipated to bring tangible benefits, such as reducing raw material waste and improving the uniformity of the final product. This study not only provides a technical solution for specific industrial ovens but also offers valuable insights for the successful use of PI control in the cooking process of meat products. The results can be applied to other food industries that rely on controlled thermal processes to ensure product quality and safety.

**KEYWORDS:** Production standards, PI control, Temperature.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste estudo é implementar e avaliar um sistema de controle proporcional-integral (PI) para controle eficiente de temperatura em estufas industriais, com foco particular nos processos de cozimento de calabresa e bacon. O objetivo é otimizar as condições térmicas ao longo do processo para melhorar a qualidade do produto final, garantir a segurança alimentar e promover a eficiência operacional da estufa.

### 1.2 Motivação

A motivação para a realização deste estudo foi a importância crítica do controle preciso da temperatura durante o processo de cozimento de produtos cárneos como calabresa e bacon. As flutuações térmicas podem ter um impacto significativo na qualidade e uniformidade destes produtos. Além disso, a eficiência operacional da estufa é diretamente afetada pelo controle adequado da temperatura. Portanto, a implementação de sistemas de controle de PI é motivada pela busca de melhorias significativas na consistência, segurança

alimentar e eficiência produtiva.

### 1.3 Metodologia e Estrutura do Trabalho

**Coleção de dados:** Analisamos detalhadamente as condições operacionais atuais da sua estufa e identificamos os principais pontos e desafios relacionados ao controle térmico.

**Projeto do sistema de controle PI:** Desenvolvimento de projeto de sistema de controle de PI adaptado às características únicas da estufa e às necessidades de cozimento de calabresa e bacon.

**Práticas de implementação:** Instalação de sensores de temperatura estrategicamente posicionados dentro da estufa. Integração do sistema de controle PI e do atuador responsável pelo controle de temperatura.

**Configurações de parâmetros:** Realize experimentos para ajustar os parâmetros de controle do PI, levando em consideração a inércia térmica do processo e as variações esperadas.

**Avaliação de desempenho:** Monitoramento contínuo da temperatura durante vários ciclos de cozimento. Os resultados são analisados para verificar a eficácia do controle PI na redução das flutuações térmicas e na melhoria da uniformidade do processo.

**Comparação e análise:** Comparação dos resultados obtidos com dados históricos da estufa antes da implementação do PI Control. Analise criticamente os benefícios alcançados e identifique áreas de melhoria.

**Documentos e relatório final:** Documentamos todas as etapas da sua pesquisa, desde a concepção até a avaliação de desempenho, e produzimos um relatório abrangente com conclusões e recomendações para implementação futura.

Ao seguir esta metodologia, pretende-se não só implementar um sistema eficaz de controle de IP em estufas industriais, mas também contribuir para o avanço do conhecimento sobre o controle térmico em processos específicos na indústria alimentar.

### 1.4 Contextualização

O controle de sistemas dinâmicos desempenha um papel crítico em muitas aplicações industriais, desde processos de fabricação até sistemas de automação. No contexto do controle de temperatura em processos térmicos, o controle integral proporcional (PI) é uma abordagem notável e um método amplamente utilizado para otimizar a estabilidade e a precisão do sistema. Este capítulo introdutório apresenta uma análise abrangente do controle de PI, destacando sua relevância, princípios básicos e aplicações práticas.

A equação para encontrar os ajustes para ser usado no controle PI:

$$m(t) = Kc * e(t) + \frac{k}{ti} \int_0^t e(t)dt + b$$

## 2 | COLEÇÃO DE DADOS

Nesse capítulo será abordado o processo de implementação do PI Control em seu ambiente começa com uma análise dos requisitos de implementação. Esta etapa crítica visa compreender o ambiente e identificar os principais pontos de interesse e desafios relacionados ao controle. Consciência estratégica: Sensores de temperatura são instalados em pontos estratégicos de toda a estufa, levando em consideração a distribuição média de produtos do processo de cozimento de calabresa e bacon.

### 2.1 Monitoramento contínuo

Iniciamos um aplicativo para monitorar as condições de temperatura interna durante a produção normal. Isso inclui a fase de aquecimento, manutenção da temperatura, etc.

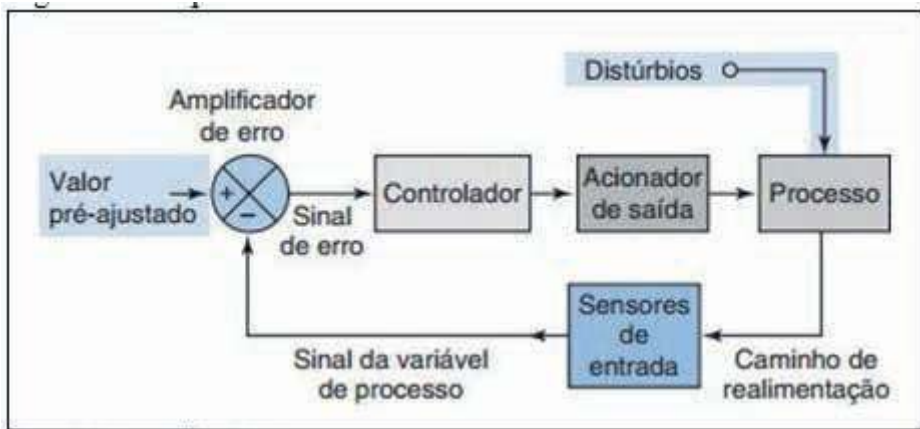


Figura 1—Exemplo de sistema de controle em malha fechada.

Fonte: Petruzella, 2014

### 2.2 Conjunto de dados

Obtenha dados precisos e detalhados e capture alterações ao longo do tempo. Os dados incluem, mas não estão limitados a, temperatura ambiente, temperatura em diversas regiões e tempo necessário para atingir a temperatura de cozimento.

## 2.3 Durante a coleta de dados

Identificamos desafios como flutuações significativas de temperatura, tempos de resposta imutáveis e ideais de longo prazo.

## 2.4 Comentários do operador

Recolhemos informações valiosas através de entrevistas com operadores, investigando as suas observações e conhecimentos sobre situações de condução diárias.

## 2.5 Análise de tendências

Utilizamos técnicas analíticas para analisar tendências recorrentes registradas em nossos dados. Isto inclui momentos críticos durante o processo de cozimento que afetam diretamente a qualidade do produto.

## 2.6 Documentação detalhada

Documente minuciosamente cada etapa da coleta de dados para garantir que cada variável relevante seja coletada em sequência. Isto servirá como uma base sólida para a implementação de futuras regulamentações de PI.

Essa abordagem cuidadosa à coleta de dados não apenas fornece informações detalhadas sobre as condições operacionais atuais, mas também fornece a base para o projeto de controle de PI e para a captura eficaz. Essas descobertas são analisadas para ajudar a personalizar soluções de sistemas de controle de acordo com as necessidades específicas do setor.

# 3 | PROJETO DE SISTEMA DE CONTROLE PI PARA ESTUFAS INDUSTRIAIS DE CALABRESA E BACON

## 3.1 Características da estufa e requisitos térmicos

Este capítulo descreve o desenvolvimento de um sistema de controle integral proporcional (PI) utilizando um controlador lógico programável (CLP) para um forno industrial para cozimento de calabresa e bacon. O principal objetivo deste projeto é adaptar com precisão o sistema de controle às características da estufa para garantir uma gestão térmica eficaz.

### 3.1.1 Análise detalhada do efeito estufa

Uma análise minuciosa das características físicas da estufa, incluindo dimensões, isolamento e fluxo de ar, foi essencial. Adicionalmente, foram determinadas as necessidades

específicas de calor para cada etapa do processo de cozimento da calabresa e do bacon.

## 3.2 Seleção do Controlador Lógico Programável (CLP).

A seleção do PLC foi feita cuidadosamente com base na sua compatibilidade com as características da estufa e na sua capacidade de implementar o algoritmo de controle PI. A presença de entradas e saídas analógicas é verificada para garantir uma comunicação eficaz com o sensor de temperatura.

## 3.3 Desenvolvimento de algoritmo de controle PI

### 3.3.1 Ajustando parâmetros PI

Os parâmetros de controle PI, como ganho proporcional e ganho integral, são cuidadosamente ajustados para garantir uma resposta estável e eficiente durante todo o processo de cozimento. Um algoritmo adaptativo foi implementado para lidar com variações nas condições ambientais e processos térmicos.

## 3.4 Integração com sensores e atuadores

Os sensores de temperatura estão estrategicamente posicionados e integrados ao PLC para fornecer feedback em tempo real. Um atuador foi conectado para controlar o sistema de aquecimento, permitindo o ajuste preciso da temperatura durante todo o ciclo de cozimento.

## 3.5 Lógica de programação e controle

A lógica de controle foi desenvolvida de forma clara e compreensível utilizando a linguagem de programação ladder. Um algoritmo anti-windup foi implementado para evitar oscilações excessivas do sistema em situações de saturação.

## 3.6 Interface do usuário e monitoramento

Uma interface homem-máquina (HMI) fácil de usar foi desenvolvida para monitoramento em tempo real e permite ajustes manuais, se necessário. Alarmes integrados indicam condições fora da tolerância.

## 3.7 Teste

Simulações foram **realizadas** para verificar o desempenho do sistema em **diferentes cenários**.



### 3.8 Documentação completa

Um manual detalhado de operação e manutenção foi desenvolvido para garantir o uso eficaz e a manutenção adequada do sistema de controle. Este capítulo fornece uma visão geral abrangente do projeto do sistema de controle PLC-PI e discute customização e integração cuidadosas para otimizar o processo de cozimento de calabresa e bacon em estufas industriais. A adaptação direcionada às características da estufa garante um controle de temperatura eficiente e consistente durante todo o processo de produção.

## 4 | CONTROLE PI DE ESTUFAS DE COZIMENTO: UMA ABORDAGEM MULTIPONTO COM FOCO EM TEMPERATURA E UMIDADE

A implementação eficaz do controle integral proporcional (PI) em estufas requer uma abordagem multiponto para monitorar e controlar a temperatura em vários pontos críticos do processo de cozimento. Além disso, o gerenciamento preciso da umidade é essencial para manter as propriedades do produto. Neste contexto, a seleção cuidadosa do sensor desempenha um papel importante. O sensor termopar de 3 fios é o mais utilizado devido à sua excelente precisão.

Para que seja possível o controle de temperatura do cozimento na estufa é necessário utilizar uma válvula que irá liberar a passagem de vapor e aplicar os valores de controle PI pré-definidos, a válvula utilizada é uma válvula proporcional que libera ou restringe a passagem de vapor conforme a necessidade do sistema até entrar em regime permanente.

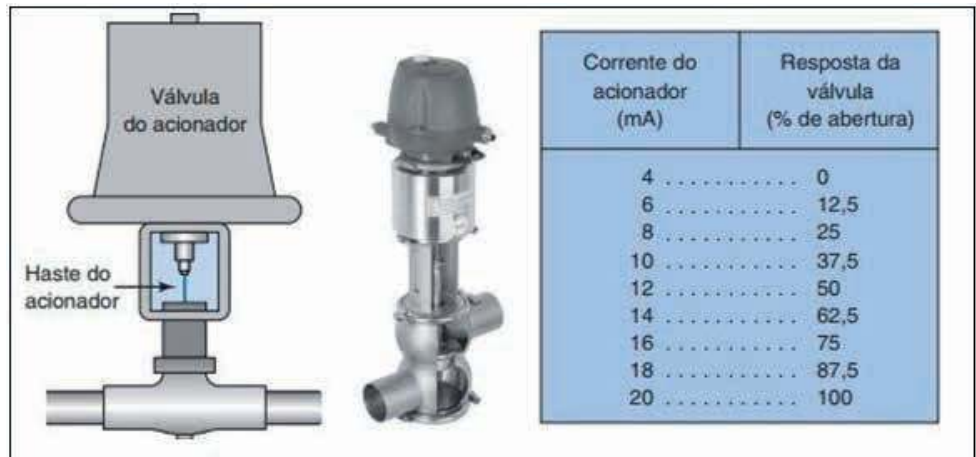


Figure 2: Funcionamento de uma válvula de controle proporcional.

Fonte: Petruzella, 2014

## 4.1 Controle de temperatura multiponto

### 4.1.1 Necessidade de monitoramento rigoroso

A aplicação do controle multiponto permite a compreensão detalhada das necessidades de calor em cada etapa do processo de cozimento no forno.

### 4.1.2 Ajuste dinâmico

A capacidade de ajustar dinamicamente os controles PI em diferentes áreas da estufa otimiza a eficiência térmica.

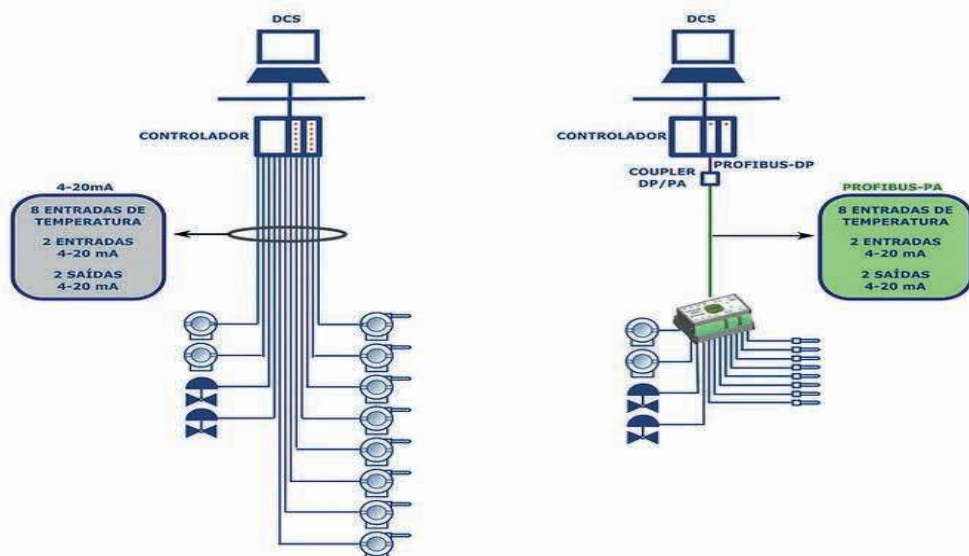


Figure 3: Funcionamento de um sistema multiponto

Fonte: Petruzella, 2014

## 4.2 Preservação das propriedades do produto

O controle simultâneo da umidade é essencial para garantir que as propriedades sensoriais e a qualidade interna do produto sejam mantidas durante o processo de cozimento.

### 4.2.1 Impacto na qualidade

A gestão da umidade minimiza o risco de perda de sabor, textura e qualidade do produto final.

## 4.3 Sensores termopar 3 fios

### 4.3.1 *Excelente precisão*

A seleção do sensor termopar (PT-100) de 3 fios é baseada em sua capacidade de fornecer precisão superior em medições de temperatura.

### 4.3.2 *Estabilidade e confiabilidade*

O sistema de 3 fios contribui para melhorar a estabilidade e confiabilidade do sistema de controle.

Este capítulo destaca a importância de uma abordagem multiponto para o controle PI do fogão e enfatiza a necessidade de monitoramento preciso de temperatura e umidade. Além disso, a seleção criteriosa dos sensores, especialmente o termopar de 3 fios, potencializa a busca pela precisão e estabilidade.

## 5 | COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS USANDO CONTROLE DE PI EM ESTUFAS DE CALABRESA E BACON

### 5.1 Comparação com dados anteriores

A eficácia do controle integral proporcional (PI) em um estufas para cozinhar calabresa e bacon é avaliada por meio de análise comparativa com dados históricos antes da implementação do controle de PI. O objetivo desta comparação é destacar as melhorias significativas alcançadas após a introdução do sistema de controle.

#### 5.1.1 *Resultados antes da implementação*

Os dados históricos do efeito estufa antes da implementação do PI Control são compilados e analisados para criar uma linha de base. Mudanças na temperatura, tempo de cozimento e uniformidade são identificados como parâmetros importantes para análise comparativa.

#### 5.1.2 *Comparando resultados*

Os resultados obtidos após a implementação do PI Control são comparados com dados históricos. Ao cozinhar calabresa e bacon, atenção especial é dada à estabilidade da temperatura, redução das flutuações e uniformidade em todo o processo.

## 5.2 Análise crítica dos benefícios alcançados

### 5.2.1 Estabilidade térmica

A estabilidade térmica é avaliada com base nas flutuações de temperatura dentro da estufa. Uma análise crítica examina como o controle PI ajuda a minimizar flutuações indesejadas e a manter condições térmicas consistentes.

### 5.2.2 Simplificando o processo de cozimento

A eficiência do processo de cozimento é analisada em relação ao tempo necessário para atingir a temperatura desejada. A comparação dos resultados antes e depois do controle de PI mostra que a eficiência empresarial melhorou.

### 5.2.3 Uniformidade do produto final

A uniformidade do produto é cuidadosamente analisada considerando propriedades sensoriais e qualidade. A implementação do controle de PI visa melhorar a consistência do resultado do cozimento.

## 5.3 Identificando áreas para melhoria

A análise crítica também visa identificar áreas de melhoria no sistema de controle de PI. Se forem identificados desafios ou limitações de implementação, serão discutidas estratégias para otimização futura.

## 6 | DOCUMENTAÇÃO E RELATÓRIO FINAL

### 6.1 Análise crítica dos benefícios alcançados

Cada etapa do estudo, desde a concepção até a avaliação de desempenho, está bem documentada. Este documento cobre tudo, desde a seleção do PLC, desenvolvimento do algoritmo PI, integração de sensores e programação de controle até os testes e simulações realizados.

### 6.2 Relatório Final

Será produzido um relatório final detalhado que inclui uma análise crítica dos resultados e conclusões da comparação com dados históricos. Além disso, são fornecidas recomendações claras para futuras implementações destinadas a melhorar ainda mais o sistema de controle térmico de estufas de calabresa e bacon.

### 6.3 Contribuindo para o conhecimento

Este trabalho não se limita à implementação prática do controle de PI, mas também visa contribuir para a ampliação do conhecimento sobre controle térmico em processos específicos na indústria alimentícia. A análise crítica e a documentação abrangente dos resultados fornecem informações valiosas para futuras pesquisas e aplicações em vários contextos industriais.

### REFERÊNCIAS

FILHO, JOÃO MAMEDE. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. LTC, 2017.

LIOHM. **Catálogo de produtos**, p. 14 - 19, 2019.

MGA. **Catálogo MGA**. 2014.

MGA. **Especificação técnica - válvula de esfera tripartida classe 300**. 2019.

NAKA. **Especificação técnica - termopares com proteção metálica**. São Paulo. 2020.

MORAES, CÍCERO COUTO DE; CASTRUCCI, PLÍNIO DE LAURO. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

CABASSA, Isabelly de Campos Carvalho. **Validação térmica do processo de cozimento de linguiça tipo calabresa em estufa utilizando leituras de termo registradores**. 2022. I.F.G. Rio Verde

# ANÁLISIS, DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE BANDA ANCHA PARA UNA FRECUENCIA DE RESONANCIA DE 1.9 GHZ

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Javier Alvaro Rivera Suaña**

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,  
Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-8943-7414>

**Raúl Reynaldo Ito Díaz**

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,  
Perú  
<https://orcid.org/0000-0003-3370-5990>

**Alberto Paricahua Huaynapata**

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,  
Perú  
<https://orcid.org/0000-0001-6315-3600>

**Armando Antonio Salinas Del Carpio**

Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca,  
Perú  
<https://orcid.org/0000-0002-1032-0388>

**RESUMEN:** El presente proyecto de investigación y desarrollo se centra en el análisis, diseño y caracterización de un amplificador de banda ancha de alta linealidad a frecuencia de resonancia de 1.9 GHz para aplicaciones en sistemas de radiofrecuencia RF. El proceso de diseño y simulación del proyecto se desarrolló utilizando el software de aplicación de alta frecuencia de código abierto; Quite

Universal Circuit Simulator (QUCS) y, como componente principal se utilizó un amplificador monolítico de uso general MMG3014NT1, compuesto por un transistor de hetero-unión bipolar de la firma Freescale Semiconductor. La caracterización del amplificador de banda ancha se desarrolló utilizando un analizador de redes vectoriales. Los resultados de la caracterización del amplificador son bastante aceptables con respecto a la frecuencia de resonancia y su ancho de banda; lográndose una ganancia real de 10.4 dB.

## ANALYSIS, DESIGN AND CHARACTERIZATION OF A BROADBAND AMPLIFIER FOR A RESONANCE FREQUENCY OF 1.9 GHZ

**ABSTRACT:** The present research and development project focus on the analysis, design, and characterization of a high linearity broadband amplifier at a resonance frequency of 1.9 GHz for applications in radiofrequency systems. The project's design and simulation process were carried out using the open-source high-frequency application software, Quite Universal Circuit Simulator (QUCS), with the main component being a general-purpose monolithic amplifier

MMG3014NT1, featuring a heterojunction bipolar transistor from Freescale Semiconductor. The characterization of the broadband amplifier was conducted using a vector network analyzer. The results of the amplifier characterization are quite satisfactory regarding the resonance frequency and bandwidth, achieving a real gain of 10.4 dB.

**KEYWORDS:** Amplifier, broadband, gain & QUCS.

## 1 | INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de comunicación se enfrentan a grandes retos; como el ancho de banda requerido para una determinada aplicación, alta linealidad en la respuesta de los componentes, mayor fidelidad de los diseños, etc. Los sistemas de comunicación en el campo de las microondas o radiofrecuencia RF están compuesto de componentes activos y pasivos como: amplificadores, filtros, osciladores, mixer, etc. (Couch, 2008)

Dichos componentes tienen una función fundamental en la recepción y transmisión de señales, como lo define (Steer, 2010).

Concerniente a la etapa de amplificación el cual está conformado por amplificadores de bajo ruido, amplificadores de potencia o amplificadores lineales de banda ancha, se tiene un requerimiento primordial de proveer la máxima transferencia de potencia, a excepción del amplificador de bajo ruido el cual está orientado a reducir el ruido inducido en un sistema de recepción (Pienkowski, 2004).

Actualmente se tiene dispositivos activos prediseñados para este propósito del proyecto. Sin embargo, el desafío está en la caracterización a nivel de simulación avanzada como medio de predicción de los resultados de medición. Teniendo en cuenta que al trabajar en diseño de componentes en alta frecuencia no solo depende de los dispositivos a utilizar, sino también del tipo de conductor a utilizar como el sustrato (Loyola Román, 2003).

## 2 | MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Parámetros de Dispersión

La importancia que posee el utilizar los parámetros de dispersión, es que permiten realizar las caracterizaciones de componentes activos y pasivos; por lo tanto, la esencia de los parámetros de dispersión es que relacionan ondas que viajan hacia adelante y hacia atrás en una línea de transmisión, dichos parámetros están relacionados con el flujo de potencia. (Durán-Sindre Viader, 2007).

### 2.2 Adaptación de Impedancia

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta en el diseño de componentes de alta frecuencia (microondas o radiofrecuencia RF) es el concepto de adaptación de impedancias; como lo afirma (Davis & Agarwal, 2001), según se muestra en la Figura 1.

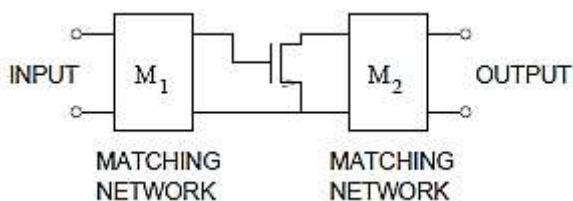


Figura 1. Dispositivo activo con redes de adaptación  $M_1$  &  $M_2$  (Steer, 2010).

## 2.3 La carta de Smith

Los parámetros de dispersión definidos anteriormente se pueden mostrar convenientemente en un diagrama polar utilizando la carta de Smith, el cual es una herramienta sumamente utilizada en la actualidad, para la representación de cantidades complejas en su forma normalizada. Por lo tanto, la carta de Smith posee representaciones gráficas tanto para la impedancia como para la admitancia como se muestra en la Figura 2, según (Pozar, 2012).

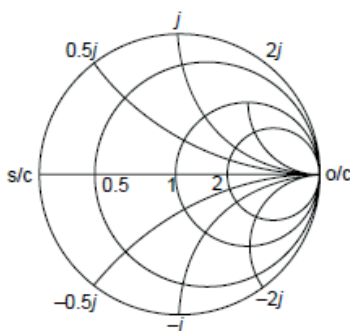


Figura 2. Carta de Smith.

## 2.4 Diseño Circuital del Amplificador

En esta etapa se procedió a caracterizar el sustrato FR4, cuyo propósito general se utiliza en la mayoría de diseños en electrónica. Considerando que al trabajar en proyectos de alta frecuencia se debe tener en cuenta las propiedades dieléctricas que posee el sustrato; tal y como lo define (Rivera, 2017).

De manera análoga se dimensionó los componentes adicionales para el desarrollo del amplificador, como se muestra en la Tabla 1.



| Componente               | Detalle             |
|--------------------------|---------------------|
| Amplificador monolítico  | MMG3014NT1          |
| Resistencias             | SMD - 0805          |
| Capacitores de desacoplo | SMD - 0603 / 100 nF |
| Inductores de bloqueo    | SMD - 0603 / 220 nH |

Tabla 1. Dimensionamiento de componentes pasivos & activos.

Luego se procedió a modelar el transistor monolítico utilizando la herramienta *SnP* disponible en el software, el cual nos permite caracterizar los parámetros de dispersión que posee el transistor, como se muestra en la Figura 3.

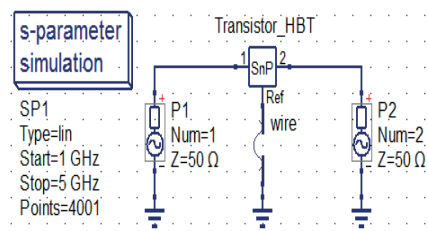


Figura 3. Modelamiento del transistor & plano de masa.

Seguidamente, se procedió a realizar el acondicionamiento del sistema de alimentación DC que necesita el amplificador, el cual está conformado por una bobina L1 de bloqueo AC y dos condensadores de desacoplo (C1 & C2); también se adicionó líneas de transmisión (MS1 & MS2) a la entrada y salida del transistor, esto con el fin de tener mayor flexibilidad al momento de la fabricación del amplificador. Siguiendo con las recomendaciones del fabricante, se adicionó una resistencia R1 de 0  $\Omega$  entre la alimentación de 5V y la línea de alta impedancia de 0.4 mm de grosor, cuya función es similar al de un fusible.

La línea de alta impedancia MS3 establecida en el diseño es para prevenir que la señal de alta frecuencia no circule por dicha vía hacia la fuente de alimentación DC, también fue necesario adicionar un condensador C3 de 22 nF entre la fuente de alimentación DC y el plano de masa, esto con el propósito de prevenir posibles ruidos de la fuente de alimentación DC. Finalmente, se tiene el circuito de alimentación DC para el amplificador según se muestra en la Figura 4.

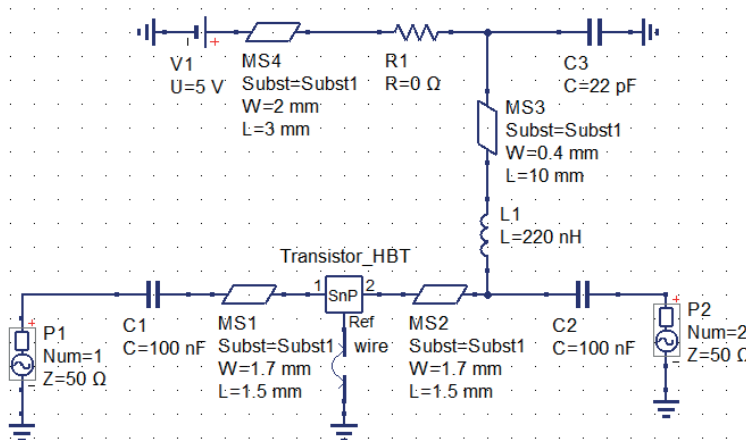


Figura 4. Circuito de alimentación DC para el amplificador.

Luego, se procedió a realizar la medición de los coeficientes de reflexión a la entrada y salida del sistema de alimentación DC del transistor. Como también a fin de obtener la condición de estabilidad requerida en el sistema definido por el factor de Rollets. Por lo tanto, la Figura 5 muestra la medición de los coeficientes de reflexión del sistema de alimentación DC.

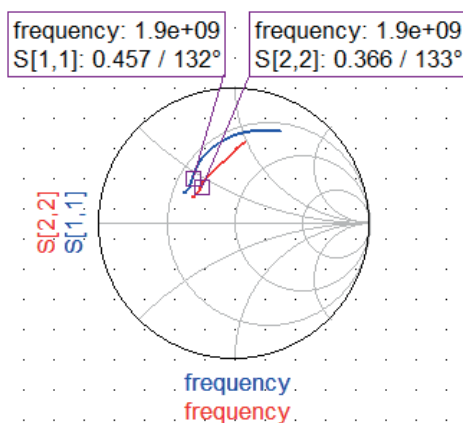


Figura 5. Coeficientes de reflexión del sistema de alimentación DC del transistor.

Realizado las mediciones de los coeficientes de reflexión S11 y S22, se procedió a realizar el proceso de adaptación de impedancias, para obtener la máxima transferencia de potencia, aplicando la adaptación conjugada; para dicho análisis se utilizó las ecuaciones necesarias para obtener los coeficientes de reflexión conjugado según (Pozar, 2012).

Por tanto, la adaptación conjugada proporciona la máxima transferencia de potencia de la red de adaptación de entrada al transistor, el cual está definido por la Ecuación (1)

$$\Gamma_{in} = \Gamma_s^* \quad (1)$$

Y la máxima transferencia de potencia transferida del transistor hacia la red de adaptación de salida ocurrirá según la Ecuación (2)

$$\Gamma_{out} = \Gamma_L^* \quad (2)$$

Por lo tanto, asumiendo una sección de adaptación sin pérdidas, las condiciones anteriores maximizarán toda la ganancia transducida del sistema, por ende, se tendrá la máxima ganancia definido por la Ecuación (3)

$$G_{T\_max} = \frac{1}{1-|\Gamma_s|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1-S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (3)$$

Por lo tanto, definida la relación de adaptación conjugada, se procedió a realizar el proceso de adaptación de impedancias a la entrada y salida del transistor con su respectivo sistema de alimentación DC. Para dicha adaptación de los coeficientes conjugados  $\Gamma_s$  y  $\Gamma_L$  se utilizó la herramienta “*Matching Circuit*” del software, de tal manera que ambos coeficientes de reflexión deben estar situados en el centro de la carta de Smith, indicándonos así una adaptación óptima para la entrada y salida del amplificador.

También para la respectiva conexión de los conectores SMA se adicionó líneas de transmisión de  $50 \Omega$  en los puertos de entrada y salida del amplificador, la conexión entre la línea de  $50 \Omega$  y la adaptación conjugada se realizó mediante los componentes MS5 y MS6, como se muestra en la Figura 6.

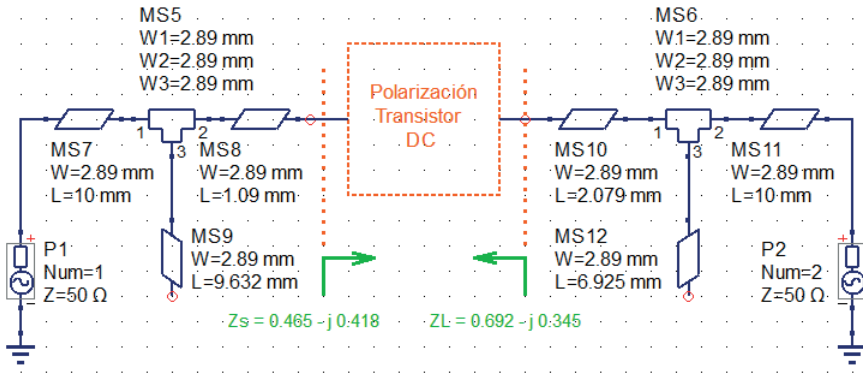


Figura 6. Esquemático completo del amplificador.

Luego, se procedió a realizar la medición de los coeficientes conjugados, en donde se puede ver en la Figura 7, dichos coeficientes de reflexión están centrados en la carta de Smith a la frecuencia de diseño, hecho que nos garantiza la correcta adaptación de impedancias para lograr la máxima transferencia de potencia del amplificador.

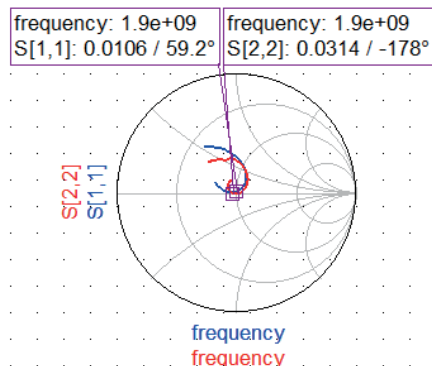


Figura 7. Coeficientes del complejo conjugado adaptados.

## 2.5 Fabricación del Amplificador

Para la fabricación del amplificador, se realizó el *Layout* correspondiente del esquemático, visto en la Figura 8. Teniendo en cuenta el cambio del componente S2P (*modelo del transistor*) con especificaciones de diseño establecidas en la hoja de datos del fabricante, también consideramos las dimensiones de la bobina de bloqueo y la resistencia, en cambio los condensadores de desacoplo de la firma TDK ya disponen de su propio *Layout*.



Figura 8. Fabricación del amplificador.

## 3 | RESULTADOS

La Figura 9 muestra la ganancia obtenida del amplificador diseñado (simulación), en donde se tiene 11.5 dB de ganancia a la frecuencia de resonancia establecida. Donde a simple vista la respuesta de ganancia tiende a atenuarse conforme la frecuencia se incrementa, este efecto es a causa de los parámetros dieléctricos que posee el sustrato utilizado, en donde dichos parámetros dependen de la frecuencia de operación.

Luego se procedió a realizar una comparativa de la ganancia del amplificador entre el resultado de la simulación y el valor medido por el analizador de redes vectoriales, teniéndose una ganancia real del amplificador  $G = 10.4$  dB, como se muestra en la Figura 9.

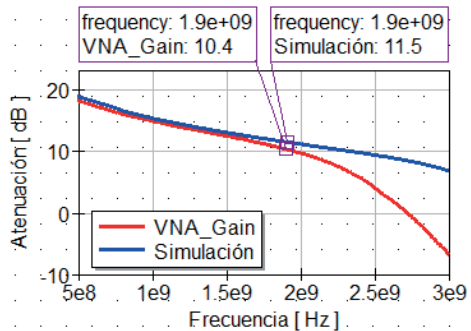


Figura 9. Ganancia del amplificador, simulación versus medición.

La Figura 10 muestra los resultados de medición de los coeficientes de reflexión; donde se tiene valores de atenuaciones de los coeficientes de reflexión:  $\Gamma_{int}=11.2$  y  $\Gamma_{out}=-23$ dB.

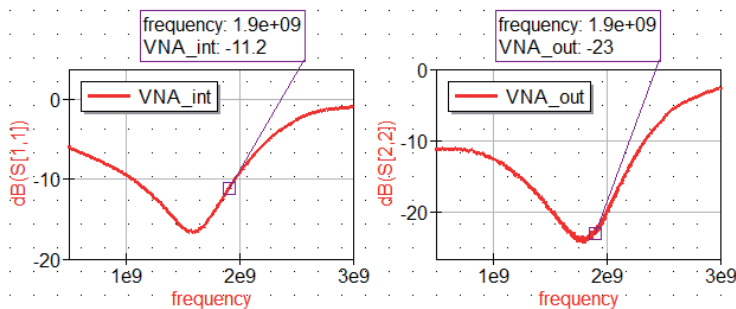


Figura 10. Medición de coeficientes de reflexión.

## 4 | CONCLUSIONES

Se ha realizado el análisis, diseño y caracterización de un amplificador de banda ancha para una frecuencia de resonancia de 1.9 GHz, en donde se obtuvo una ganancia real de 10.4 dB. Con coeficientes de reflexión a la entrada mayor a 10 dB y atenuación a la salida que supera los 20 dB. Por lo tanto, se tiene un amplificador con resultados bastante aceptables para cualquier aplicación en sistemas de radiofrecuencia.

Finalmente; se utilizó un software de código abierto (QUCS) que dispone de componentes para trabajos en aplicaciones de alta frecuencia, lo cual es una herramienta bastante flexible para realizar proyectos de desarrollo e investigación en el campo de radiofrecuencia y microondas.

## REFERENCIAS

Couch, L. (2008). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. Mexico: Pearson educación.

Davis, A., & Agarwal, K. (2001). *Radio frequency circuit design*. Texas: John Wiley & Sons, Inc.

Durán-Sindreu Viader, M. (2007). *Diseño e implementación de un filtro paso banda de banda estrecha con topología interdigital a frecuencias UHF y microondas*. Memoria de trabajo final de carrera de ingeniería técnica de telecomunicaciones, especialidad sistemas electrónicos, Universidad autónoma de barcelona, Barcelona.

Freescale semiconductor, t. d. (2008, 2011, 2014, 2016 Freescale Semiconductor, Inc.). Obtenido de <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MMG3014NT1.pdf>

Loyola Román, E. (2003). *Diseño y construcción de un filtro pasa banda chebyshev a 2.5 GHz con microcinta bajo la topología de líneas aplicadas*. Huajuapán de León: Universidad tecnológica de la mixteca.

Pienkowski, D. (2004). *CMOS Low-Noise Amplifier design for reconfigurable mobile terminals*. Berlin: Von der Fakultät IV Elektrotechnik und Informatik.

Pozar, D. (2012). *Microwave engineering*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Rivera, A. (2017). *Design of a low-noise amplifier for radar applications in the 5 GHz frequency band*. Gävle: University of Gävle, HiG.

Steer, M. (2010). *Microwave and RF design a systems approach*. USA: Scitech publishing, Inc.

# THE INFLUENCE OF VACCINES ON COVID-19 CONTROL BY NUMERICAL SIMULATION: A WARNING FOR ITS SPREAD AND CONTROL

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Moises Meza Pariona**

State University of Ponta Grossa, Dpts  
Materials Engineering and Mathematic  
and Statistic, Ponta Grossa-PR, Brazil

**ABSTRACT:** The goal of this study was to apply a modified susceptible-exposed-infectious-recovered (SEIR) compartmental mathematical model for prediction of COVID-19 epidemic dynamics, for the high and low pandemic case, which occurred during the year 2021 at State de Paraná Brazil and these results were compared. For this procedure, the model parameters using officially reported of State de Paraná Brazil were calibrate. As result the S (susceptible population) and E (exposed population) parameters decay as a function of time, being a very drastic drop for S and a slow decrease to E in high pandemic, however, the I (infected population) parameter rises and decays as a function of time, but, in a high pandemic, the tendency is to grow, nevertheless, the R (recovered population) parameter rises as a function of time, in low pandemics this parameter has a much higher growth behavior than in high pandemics, as expected. So, the numerical simulation is

consistent with reality. This result is coherent with what is happening in the scenario in the different cities of the countries of the world. Among the advantages of the implemented model, it should be noted that despite the simplicity of the hypotheses, the adjustments obtained were quite accurate and the projections made do not differ much from those other more complex models. Our results could also provide useful suggestions for the prevention and control of the COVID-19 outbreaks in different countries and locations

**KEYWORDS:** Covid-19 epidemic, epidemiological models, vaccine, SEIR model, spread and control, numerical simulation.

## 1 | INTRODUCTION

The new and highly contagious coronavirus disease 2019 (COVID-19) caused by SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome-coronavirus 2) exploded worldwide since early December 2019, resulting 4.367.023 deaths and 207.557.334 infected in the world, in Brazil 569.058 deaths until August 16, 2021, from

COVID-19 Data Report from the Center for Systems Science and Engineering (CCSE) at Johns Hopkins University 2021 [1]. According to the Paraná Health Secretariat [2], at September 13, 2021, there were 20.999.779 infected and 586.851 deaths in the country; 1.473.335 infected and 37.896 deaths at State of Paraná, Brazil. For countries around the world have taken various control measures to mitigate the spread of the virus, including social distancing measures, wearing masks, and so on. In the last few months its spread has increased dramatically, leading to hospital bed shortages.

Healthcare professionals and public health authorities have a central role in vaccination against COVID-19 of the people. Vaccines play a critical role in preventing deaths, hospitalization caused by infectious diseases. Emerging data on effectiveness indicates that licensed COVID-19 vaccines are contributing to controlling the spread of the disease. Until widespread vaccination has been achieved, both vaccinated and unvaccinated people need to be aware of the additional protective behaviors required to control the pandemic locally, according to World Health Organization [3].

Vaccination has been shown to contribute to reducing deaths and severe illness from COVID-19, and to reduce the transmission of COVID-19. Vaccinating as many people as possible and reducing the spread of disease is important. Vaccination of a significant proportion of the population also protects vulnerable people, including those who cannot receive vaccines, or the small proportion of people who might remain at risk of infection after vaccination. Failure to vaccinate widely also enables continued circulation of the virus and the generation of variants, including some that may pose a greater risk. Widespread vaccination will help prevent people from having to go to hospital and contribute to fewer people getting sick, ultimately alleviating the burden of COVID-19 on healthcare systems. It will also help allow a return to normal societal functioning and the re-opening of economies, as was reported [3].

This paper aims to show the advantage of mathematical modeling and their simulations in times like now, during which the COVID-19 spreading and the dynamics of epidemic transmission was studied, for the high and low pandemic case that occurred during the year 2021 and these results were compared, for this the Susceptible-Exposed-Infectious-Removed (SEIR) model was used. These models are based on a system of ordinary differential equations. This research studied the evolution of the parameters as a function of time for the COVID-19 epidemic, which can be applied in any city.

## 2 | MATHEMATICAL MODELING

The 2019 coronavirus disease (COVID-19) seriously threatened human lives and health worldwide. Many epidemic models have been developed to provide as references for decision making by rulers and the World Health Organization. To run and understand the characteristics of the epidemic trend, parameter optimization algorithms are needed to



obtain the model mechanisms.

In the considered transmission model total human population is divided into four sub compartments, where  $S$  denotes susceptible population, which represent the section of human population who are susceptible to contact the virus and become infectious if exposed.  $E$  denotes exposed population, which represent human population who are infected but not infectious so far or suspect.  $I$  denote infected population, who have fully developed the symptoms of COVID-19 and can spread the virus through contact with the susceptible population. The populations section who has fully recovered after the treatment and they have no symptoms of disease (free from the disease) is denoted by  $R$ . To respect was presented a discussed by different authors, among them, Yadava and Verma [4], Savioli et al. [5], Carcione et al. [6], Lopez and Rodo [7], Din and Algehyne [8], Cintra and Fontinele [9].

The transmission model for COVID-19 pandemic is given by following system of ordinary differential equations;

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N} \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \alpha E \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha E - \gamma I \quad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I \quad (4)$$

In the dynamical system of equations, the rate of human-to-human transmission of disease between the exposed and susceptible individuals are given by the function  $\beta$ , the rate of human-to-human transmission of disease between the infected and susceptible individuals are denoted by the function  $\alpha$  and the average disease incubation period is denoted by  $\alpha^{-1}$  and whereas  $\gamma$  denote the rate of recovery and infectious period is  $\gamma^{-1}$ . In Figure 1, a schematic diagram is shown the transmission model for COVID-19 pandemic.

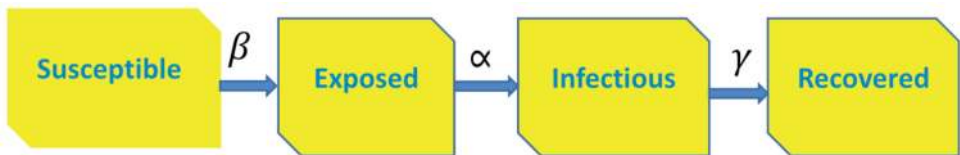


Figure 1. A schematic diagram showing the transmission model for COVID-19 pandemic.

An important parameter in any epidemic, what is called the basal reproduction rate or the basic reproduction ratio,  $R_0$ , is the classical epidemiological measure associated with the reproductive power of the disease, defined as the growth rate times the time of infection, Carcione et al. [6]:

$$R_t = b/a \quad (5)$$

Therefore, if  $R_t > 1$ , there will be exponential growth of the epidemic at the beginning of the contagious process.  $R_t < 1$ , there will be attenuation also exponential, until the epidemic ends. Therefore,  $R_t$  is a fundamental parameter for epidemic control.

To do this work, the effectiveness of vaccines in the state of Paraná Brazil in the year 2021 was studied by numerical simulation, comparing the high contamination that occurred in the month of February, where the vaccination percentage was low, and to the month of September had low contamination and a high percentage of vaccinated people. In this work, in order to carry out the simulation, we considered the data according to the Paraná Health Department [2] and Ministério da Saúde Secretaria de Vigilância em Saúde [10].

Thus, the data corresponding to the month of February 20, 2021. Where,  $I_o$  (as confirmed) 607.632, initial status of those infected.  $R_o$ , recovered 449.980, initial condition of those recovered.  $E_o$  (as notified or suspect) 1.529.476, initial condition of those exposed.  $N = 11.516.840$ , population number of the State of Paraná. Thus,  $S_o = N - E_o - I_o - R_o = 8.929.752$ , initial condition of the susceptible. The baseline reproduction index,  $R_t = 1.5$ ,  $\alpha = 1/5.2 [\text{day}^{-1}]$ , as  $R_t = \beta/\alpha$ , so  $\beta = 1.5/5.2 [\text{day}^{-1}]$  and recovery rate  $\gamma = 1/D [\text{day}^{-1}]$ , according to George [11], Lauer et. Al [12], Rees et al. [13], it was determined the average duration of recovery  $D$ , the average of 10 days is used in this paper. To this date the vaccinated people were 8.006.419 people, so the proportion vaccinated was  $\delta = 277.707 / N = 0.024$ .

Meanwhile for the month of September 13, 2021. Where,  $I_o$  (as confirmed) 1.473.335, initial status of those infected.  $R_o$ , recovered 1.382.448, initial condition of those recovered.  $E_o$  (as notified or suspect) 5.005.082, initial condition of those exposed.  $N = 11.516.840$ , population number of the State of Paraná. Thus,  $S_o = N - E_o - I_o - R_o = 4.905.975$ , initial condition of the susceptible. The baseline reproduction index,  $R_t = 0.8$ ,  $\alpha = 1/5.2 [\text{day}^{-1}]$ , as  $R_t = \beta/\alpha$ , so  $\beta = 0.8/5.2 [\text{day}^{-1}]$ . To this date the vaccinated people were 8.006.419 people, therefore the proportion vaccinated was  $\delta = 8.006.419 / N = 0.695$ , according to reports [2].

### 3 | RESULTS AND DISCUSSIONS

Next the result and discussion of the numerical simulation of the covid-19 epidemic through numerical simulation of epidemiological model will be presented, for this purpose the susceptible-exposed-infectious-removed (SEIR) model was used. We calibrate the model parameters using officially reported of State de Paraná Brazil, considering a state of pandemic high and low, in the State of Paraná Brazil [2].

The Equations 1-5 and all parameters involving these equations defined [8] in the previous section were used for this simulation. The simulation was done for the case when the population of the state of Paraná-Brazil showed a low vaccination percentage (2.4%) in the month of February 2021 [2], and the result is shown in Figure 2 for 30 days. For this case the baseline reproduction index was  $R_t = 1.5$  it was considered according to [2], which

means a high contamination with a severe pandemic. It can be seen in Figure 2 that the susceptibility (S) has a drastic decrease as a function of time. However, the exposure (E) showed a very slow decline, after five days it tends to go up and then afterward 15 days it tends to go down slightly. Nevertheless, the infectious process (I) grows exponentially until it reaches a maximum in 25 days, soon thus decreasing slowly. Thus, through numerical simulation it is demonstrated a high infection during the high pandemic period and with a low vaccination percentage, which agrees with reality, where there was a lack of beds in hospitals and the population was forced to make lockdown. However, the recovery (R) grew with an almost linear behavior and having a high growth in relation to the contamination, which may have contributed to the percentage of vaccination and the lockdown.

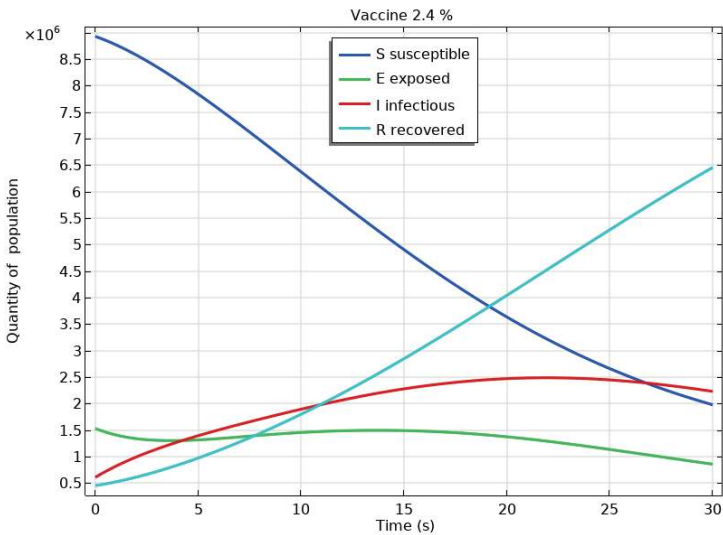


Figure 2. Numerical simulation of the covid-19 epidemic by SEIR model for the case with a severe pandemic

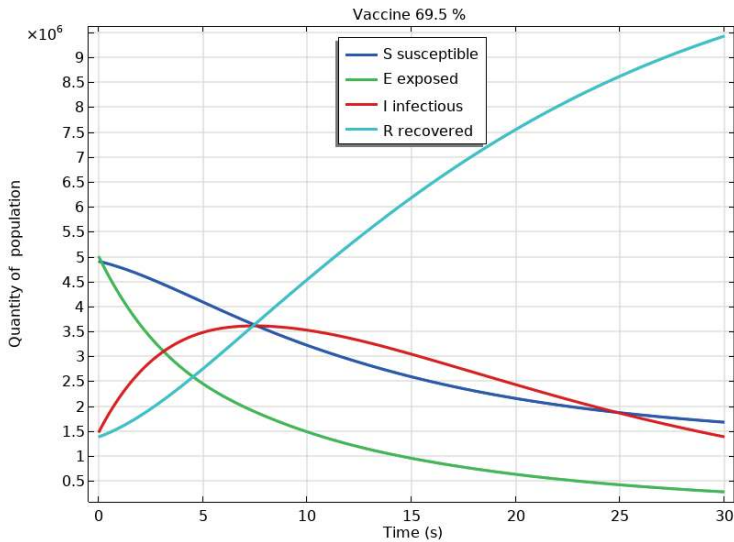


Figure 3. Numerical simulation of the covid-19 epidemic by SEIR model for the case with 69.5% vaccine

For the case with 69.5% vaccine, according to [2], where the baseline reproduction index was  $R_t = 0.8$ , which means low contamination. The initial conditions for Figure 3 are completely different compared to Figure 2; in this last case these conditions are higher. The result can be seen in Figure 3, where the susceptibility (S) decays rapidly as a function of time, but this same parameter that corresponds to Figure 2, where the drop is drastic. In addition, the Exposure (E), also decays rapidly relative to S, but this drop is more abrupt relative to the same parameter of Figure 2. The infection parameter (I), rises quickly in the first days, then slowly decreases until the end of the period; this same parameter in Figure 2 with trend behavior to increase. This result is justified with the reality that is happening, with a high pandemic this last parameter its tendency is to grow, so the numerical simulation is consistent with the Covid-19 event. Finally, the parameter recovery (R) increases drastically, this behavior is much higher than in Figure 2, it means that at low pandemic the recovery is much higher, so the numerical simulation is consistent with reality.

The results of this work were similar to the authors, Yadava and Verma [4], Savioli et al. [5], Carcione and Santos [6], Lopez and Rodo [7]. The result presented is approximately similar to the data presented by the officially reported of State of Paraná Brazil [2]. To have a better closer of the simulation with the reality, the data provided by the health agencies would lack more accuracy, however, in this model the confinement, distancing, lockdown, the psychological, the emergence of transmutation of new viruses and emotional part were not considered. So, we will continue studied and sophisticate the model. Our challenge is to understand the mechanisms and the phenomenology of the process of emerged of new variants of coronavirus, spread, and control of the virus.

## 4 | CONCLUSIONS

We calibrate the model parameters using officially reported of State de Paraná Brazil, considering a high and low pandemic for the covid-19 virus in this State.

In this result the S (susceptible population) and E (exposed population) parameters decay as a function of time, being a very drastic drop for S and a slow decrease to E in high pandemic. However, the I (infected population) parameter rises and decays as a function of time, but, in a high pandemic, the tendency is to grow. Nevertheless, the R (recovered population) parameter rises as a function of time, in low pandemics this parameter has a much higher growth behavior than in high pandemics as expected. So, the numerical simulation is consistent with reality.

This result is coherent with what is happening in the scenario of the different cities and countries of the world, due to a good percentage of people that were vaccinated, there is almost no more lockdown, besides that, schools, colleges, some universities and the employees of governmental companies are back in person, companies are returning to working normally, a certain amount of people are wearing less masks and more people are traveling. Because of this, our prediction from the covid-19 modeling is encouraging, less infection and more people recovering going on in the world.

Among the advantages of the implemented model, it should be noted that despite the simplicity of the hypotheses, the adjustments obtained were quite accurate and the projections made do not differ much from those other more complex models. Also, the instantaneous increment of cumulative diagnosed people depends on the history of cumulative infected people, by which the latent period can be taken into consideration.

Our results could also provide useful suggestions for the prevention and control of the COVID-19 outbreaks in different countries and locations

Results should be interpreted with care as projections at these stages of the epidemic are very dependent on the quality of data, with small changes in observed values producing large variations in trends. However, even with this limitation in mind, the magnitude of positive increments in cases suggests these results are strong.

In general terms, the model is quite stable, as shown in the uncertainty analysis carried out. On the other hand, it can be seen in the successive updating of the parameters that the initial projections of the proposed model were not too far from the real data reported. This gives a special value to the work since it somehow justifies the previous discussion.

Models can be used to predict and understand how an infectious disease spreads in the world and how various factors affect the dynamics. Even if the predictions are inaccurate, it has been clear to scientists from many decades that quarantine, social distancing, and the adoption of very strict health and safety standards are essential to stop the spread of a virus. Quarantine was even implemented in medieval times to fight the black death before there was knowledge of the existence of viruses. In this sense, this pandemic reveals the failure

of policy-makers, since it is well-known from basic modeling results that earlier adoption of those measures can save thousands of lives and even prevent the pandemic. The interface of science, society, and politics is still uneasy, even in highly developed countries, revealing a disregard for scientific evidence. Moreover, one of the consequences is that some of these countries do not invest sufficiently in R&D and must acquire the new technology from overseas at a much higher cost.

## REFERENCES

- [1] Johns Hopkins University (2021) COVID-19 Data Report from the Center for Systems Science and Engineering (CCSE) [Online]. Available: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>.
- [2] Paraná Health Secretariat (2021). Coronavírus (COVID-19). Secretaria da Saúde [Online]. Available: [saude.pr.gov.br](https://saude.pr.gov.br).
- [3] World Health Organization (2021) [Online]. Available: <https://www.who.int/news/item/11-06-2021-statement-for-healthcare-professionals-how-covid-19-vaccines-are-regulated-for-safety-and-effectiveness>
- [4] R.P. Yadava and R. Verma A numerical simulation of fractional order mathematical modeling of COVID-19 disease in case of Wuhan China. *Chaos, Solitons and Fractals*. vol. 140 pp. 110124, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110124>
- [5] G. B. Savioli, J. M. Carcione, J. E. Santos, P M. Gauzellino, A. Ravecca, and A. Moras. A numerical simulation of the covid-19 epidemic in argentina using the seir model. *Latin American Applied Research*. vol. 51(3): pp.179-184, 2021. DOI:<https://doi.org/10.52292/j.laar.2021.671>
- [6] J. M. Carcione, J. E. Santos and J. A. Ba. Simulation of a COVID-19 Epidemic Based on a Deterministic SEIR Model. *Front Public Health*. v. 8, pp: 230, 2020. doi:10.3389/fpubh.2020.00230.
- [7] L. Lopez and X. Rodo. A modified SEIR model to predict the COVID-19 outbreak in Spain and Italy: Simulating control scenarios and multi-scale epidemics. *Results in Physics*. vol. 21, pp. 103746, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103746>
- [8] R. U. Din, E. A. Algehyne. Mathematical analysis of COVID-19 by using SIR model with convex incidence rate. *Results in Physics*. vol. 23: 103970, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2021.103970>
- [9] H. P. C. Cintra, F. N. Fontinele. Estimative of real number of infections by COVID-19 in Brazil and possible scenarios. *Infectious Disease Modelling*. vol. 5, pp. 720-736, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.idm.2020.09.004>
- [10] Ministério da Saúde Secretaria de Vigilância em Saúde (2021) [Online]. Available: <https://antigo.saude.gov.br/vigilancia-em-saude>.
- [11] N. George, N. K. Tyagi, J. B. Prasad. COVID-19 pandemic and its average recovery time in Indian states. *Clinical Epidemiology and Global Health*. vol. 11, pp. 100740, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2021.100740>

[12] S. A. Lauer et al. The incubation period of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from publicly reported confirmed cases: estimation and application. *Ann Intern Med.* vol. 172(9), pp.577–582. 2020. <https://doi.org/10.7326/M20-0504>.

[13] E. M. Rees, et al. COVID-19 length of hospital stay: a systematic review and data analysis, *BMC Med.* vol. 18(1), pp.1-14, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12916-020-01726-3>; 2020, 270.

# BIODIGESTOR A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTARES: UMA PROPOSTA PARA O RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO DA UFERSA - MOSSORÓ

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Matheus Henrique Medeiros de França**  
Universidade Federal Rural do SemiÁrido

**Anderson Felipe Costa Leonês**  
Universidade Federal Rural do SemiÁrido

**Lais Aparecida Nascimento de Melo**  
Universidade Federal Rural do SemiÁrido

**Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella**  
UFERSA

**Pedro Victor de Sousa Albuquerque**  
Universidade Federal Rural do SemiÁrido

**RESUMO:** Os problemas com resíduos alimentares vem gerando grandes dificuldades para as instituições de grande porte, como as universidades, pois os rejeitos descartados de maneira incorreta, podem causar inúmeros impactos negativos ao meio ambiente, e com isso elevando os custos das universidades com transporte e descarte adequado desse material. Portanto, para diminuir os custos e aproveitar parte desses materiais, medidas mais sustentáveis podem ser implementadas, como a transformação dessa matéria orgânica em biofertilizantes

ou em biogás. Dessa forma, várias tecnologias têm sido utilizadas para esse fim, uma delas é o biodigestor. O estudo desenvolvido dimensiona um biodigestor e verifica a potencialidade da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos alimentares provenientes do Restaurante Universitário da Universidade Federal Rural do semi-árido (UFERSA), do campus Mossoró. Para esse dimensionamento, adotou-se a fração de sólidos voláteis de 23%, com isso, se estimou uma produção média diária de gás metano em cerca de 7,1 m<sup>3</sup>. Esse volume de gás gerado pode compensar cerca de 18% da demanda de GLP que é necessária para a produção das refeições referentes ao almoço.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa, Biodigestor, Resíduo Alimentar, Biogás, Dimensionamento.



# INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS TO THE SCIENTIFIC COMMITTEE OF THE 51º BRAZILIAN CONGRESS ON ENGINEERING EDUCATION AND VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EDUCATION IN ENGINEERING – COBENGE 2023

**ABSTRACT:** Summary. Problems with food waste have been causing great difficulties for large institutions, such as universities, as waste that is disposed of incorrectly can cause numerous negative impacts on the environment, and thereby raising the costs of universities with transport and proper disposal of that material. Therefore, to reduce costs and take advantage of part of these materials, more sustainable measures can be implemented, such as transforming this organic matter into biofertilizers or biogas. Thus, several technologies have been used for this purpose, one of which is the biodigester. This study deals with dimensioning a biodigester and verifying the potential of biogas production from organic food waste from the University Restaurant of the Federal Rural University of the semi-arid (UFERSA), on the Mossoró campus. For this sizing, a fraction of volatile solids of 23% was adopted, thus estimating an average daily production of methane gas of around 7.1 m<sup>3</sup>. This volume of gas generated can offset about 18% of the demand for LPG that is necessary for the production of lunch meals.

**KEYWORDS:** Biomass, Biodigester, Food Waste, Biogas, Sizing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Conforme a Organização das Nações Unidas (ONU), no ano de 2022, a população mundial ultrapassou a marca de 8 bilhões de pessoas, sendo considerado um marco importante no desenvolvimento humano, contudo, esse crescimento representa grandes desafios. Como se sabe, a superpopulação é um dos agentes que mais impactam o meio ambiente, estando não somente associada ao aumento da temperatura global, como também ao elevado consumo dos recursos naturais e ao aumento da poluição. Relacionada a isto, está o desperdício alimentar, que além de ser uma questão socioambiental, é considerado um fomentador de emissões globais de gases de efeito estufa, contribuindo a uma taxa de 10%, para essas emissões (MARTINS, 2022). Como consequência, o rumo que esses resíduos tomam, passou a ser considerado um problema ambiental relevante, tornando-se uma dificuldade para as cidades, não apenas pelo destino adequado, mas também a forma de coleta, e os possíveis tratamentos para minimizar os impactos no meio ambiente (SILVA et al., 2018).

Os resíduos alimentares, são os conjuntos de sobras orgânicas do pré-preparo, preparo e distribuição de alimentos (CALDEIRA, 2020), e o seu uso para produção de biogás o torna uma alternativa interessante, pois o aproveitamento desses rejeitos diminuem os impactos que seriam causados por seu descarte inadequado, que incluem riscos de contaminação do solo, assim como lençóis freáticos e mananciais (tera ambiental, 2017), além de reaproveitar parte dos alimentos desperdiçados que, segundo estudos globais, realizados pela organização inglesa WRAP e pela PNUMA no ano de 2019, atingiu a marca

de 931 milhões de toneladas de alimentos (EMBRAPA,2021).

De maneira geral, árvores e plantas, assim como uma variedade de resíduos orgânicos, podem ser convertidas através de processos, em uma vasta diversidade de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, que são denominados biocombustíveis. (DEVIS, 1982) Os biocombustíveis gasosos são obtidos através de equipamentos conhecidos como Biodigestores, que são sistemas de tanques fechados, onde se é formado o biogás. O gás do digestor, proveniente desses compostos orgânicos, consiste no produto final do processo biológico, conhecido como digestão anaeróbia, a qual, uma diversidade de microrganismos realizam diversas reações químicas para decompor a matéria orgânica, contribuindo na questão ambiental, pois reduz potencialmente os impactos ambientais da fonte poluidora, por diminuir o lançamento de metano orgânico e CO<sub>2</sub> na atmosfera, podendo ser utilizado na geração de eletricidade, como biocombustível para veículos e quando queimado, se torna uma alternativa ao uso do gás natural (VIEIRA, 2020).

Dessa maneira, se faz notar, a importância da análise de viabilidade de um projeto que implemente um biodigestor para a produção de biogás, através do tratamento de resíduos orgânicos gerados pelo restaurante Universitário da UFERSA, Campus Mossoró. Sendo assim, a geração desse produto possibilita o seu uso como alternativa ao gás de cozinha (GLP), contribuindo, com reduções nos custos mensais associados ao preparo das refeições, representando benefícios ambientais e econômicos relacionados ao reaproveitamento de restos alimentares.

## 2 | BIODIGESTOR

O biodigestor é um equipamento usado com a função de agilizar o processo de decomposição da matéria orgânica por meio da ausência de oxigênio (esse processo é conhecido como biodigestão anaeróbia), sendo formado por um digestor, conhecido como câmara, onde ocorre esse processo. Essa estrutura pode ser cilíndrica, vertical e superficial, estando junto a uma campânula onde se acumula o gás da digestão (PINTO, 2008).

Essa decomposição, acontece através de uma sequência de reações bioquímicas, que de forma sucinta, podem ser divididas em dois ciclos, onde no primeiro ocorre a hidrólise, a acidificação e a liquefação desses resíduos e o segundo tem a transformação do 26 acetato, do hidrogênio e do óxido de carbono em metano.

### 2.1 Classificação de biodigestores

#### *Número de estágios*

O número de estágios é um critério importante para classificar sistemas de biodigestores. Um sistema de um único estágio realiza todos os processos em paralelo

dentro de uma única câmara, essa configuração tem a vantagem de ter um custo de investimento menor devido ao seu projeto simples. Por outro lado, sistemas com múltiplos estágios possuem digestores separados, onde os processos ocorrem de forma contínua. Essa separação permite que as reações aconteçam em condições diferentes em cada estágio. Geralmente, o primeiro estágio inicia com uma hidrólise, com uma detenção hidráulica de 2 a 5 dias, seguido pelos processos subsequentes. Essa abordagem pode aumentar a taxa de reação global e a produção de biogás, devido ao controle mais preciso das condições em cada etapa (VANDEVIVERE et al., 2002). Como exemplos desses tipos de biodigestores, a Figura 1 e Figura 2 mostram os biodigestores de estágio único e bifásico, respectivamente.



Figura 1 - Biodigestor de estágio único.

Fonte: Google imagens (2022)

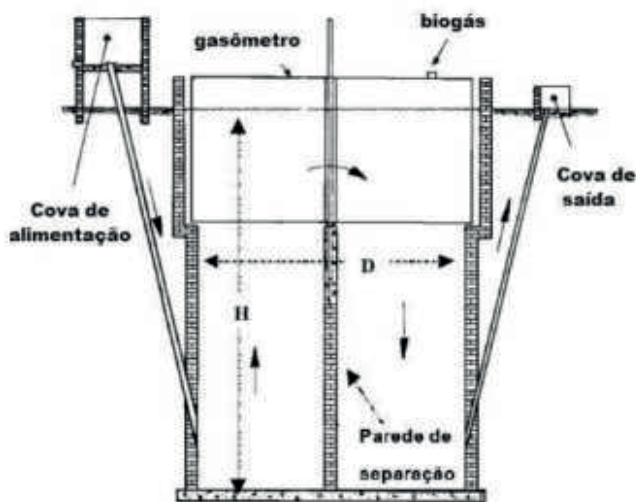


Figura 2 - Biodigestor bifásico.

Fonte: Florentino (2003)

### *Alimentação dos sistemas*

Existem duas formas de alimentação em sistemas de biodigestores: contínua e descontínua (batelada). Na alimentação contínua, os resíduos são adicionados regularmente, resultando em uma produção constante de biogás. Já na alimentação descontínua, o tanque é preenchido de uma vez com substratos frescos, podendo receber inóculos para acelerar a bioestabilização (PROSAB, 2003). Ambas as abordagens têm vantagens: a contínua oferece estabilidade e é adequada para resíduos gerados constantemente, enquanto a descontínua permite processar grandes volumes de resíduos de uma vez. A escolha depende das características dos resíduos e das necessidades de produção de biogás.

### *Digestão anaeróbia*

A digestão anaeróbia pode ser classificada em seca ou úmida, dependendo do teor de Sólidos Totais (ST) presente no resíduo. O ST representa a quantidade de matéria seca no resíduo, excluindo a água. Essa classificação é importante na escolha do sistema de digestão para a produção de biogás. Quanto maior o teor de ST, menor é a proporção de água, e vice-versa. Os sistemas de digestão anaeróbia úmida são utilizados para resíduos com baixo teor de ST (10 a 20% de matéria seca ou menos), enquanto os sistemas de digestão anaeróbia seca são adequados para resíduos com teor mais elevado (20 a 40% de matéria seca ou mais). Essa distinção influencia no projeto e funcionamento dos sistemas de digestão anaeróbia.

## **3 | METODOLOGIA**

O desenvolvimento deste artigo seguiu a cadeia metodológica, mostrada na Figura 3, onde consta de um fluxograma com as etapas seguidas no presente estudo. Essas etapas visam identificar e determinar o tipo de biodigestor que melhor se adequa à quantidade de resíduos sólidos gerados pelo restaurante universitário da UFERSA, campus Mossoró, a partir de uma estimativa de produção de biogás.

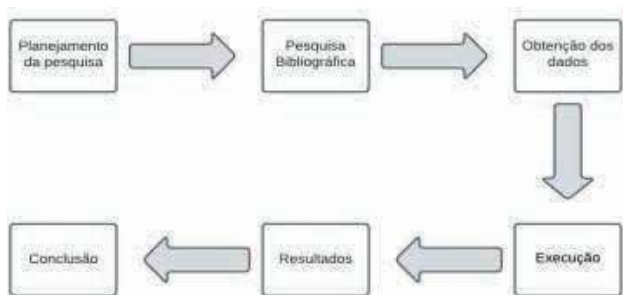


Figura 3 - Fluxograma metodológico.

Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme mostrado na Figura 3, o protocolo consistiu em (i) planejar a pesquisa delimitando o tema a partir dos assuntos propostos em sala; (ii) pesquisar em diferentes periódicos, aplicando diferentes *strings* com objetivo de aumentar a quantidade de literatura, para analisar os diferentes métodos de dimensionamento; (iii) solicitar dados para a aplicação da pesquisa no restaurante universitário; (iv) executar o melhor método de dimensionamento com dados dispostos; (v) chegar nos resultados para o biodigestor ideal; (vi) concluir e apresentar as conclusões do trabalho.

### 3.1 Dados do RU analisado

O levantamento de dados apresentado neste estudo foi realizado através da realização de um questionário e da coleta dos dados de pesagem de rejeitos alimentares gerados a partir do almoço do RU da UFERSA, por um período de 15 dias, entre os meses de Agosto e Setembro de 2022, (mostrados na tabela 1), vale ressaltar, que os dados disponibilizados através da empresa responsável pela produção desses alimentos, foram fornecidos de forma não sequencial, ou seja, não seguiam a ordem de segunda a sexta- feira. No entanto, para realizar o presente trabalho, os dados foram organizados de forma sequencial para fins de análise. Além disso, também são apresentados os dados do consumo mensal, sendo aproximadamente 400 m³/mês de GLP (Gás Liquefeito do Petróleo).

|              |        |               |       |               |        |
|--------------|--------|---------------|-------|---------------|--------|
| <b>DIA 1</b> | 113 kg | <b>DIA 6</b>  | 73 kg | <b>DIA 11</b> | 74 kg  |
| <b>DIA 2</b> | 80 kg  | <b>DIA 7</b>  | 71 kg | <b>DIA 12</b> | 71 kg  |
| <b>DIA 3</b> | 64 kg  | <b>DIA 8</b>  | 77 kg | <b>DIA 13</b> | 78 kg  |
| <b>DIA 4</b> | 67 kg  | <b>DIA 9</b>  | 75 kg | <b>DIA 14</b> | 117 kg |
| <b>DIA 5</b> | 24 kg  | <b>DIA 10</b> | 88 kg | <b>DIA 15</b> | 87 kg  |

Tabela 1. Geração diária de resíduos orgânicos no RU.

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com os dados obtidos na tabela 1, cada dia gerou quantidades diferentes de resíduos e para uniformizar esses dados foi calculado o valor total de desperdício de 1159 kg, possuindo uma média diária de 77,3 kg/dia de desperdício, sendo essa média diária a relação desse valor total com a quantidade de dias analisados.

## 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados de cada etapa do dimensionamento do biodigestor bifásico de digestão anaeróbia contínua e úmida, de acordo com o protocolo visto na seção 3.

### 4.1 Análise preliminar

Para estimar a quantidade de gás metano produzida, é necessário encontrar a porção dos sólidos totais úteis para produção de energia, que é dado a partir do teor de degradabilidade do substrato afluente, a partir dos valores percentuais dos sólidos voláteis totais (SV), com a média diária dos rejeitos. Para determinar essa porcentagem SV, o presente trabalho utilizou como base o estudo de Rocha (2016), que compilou diferentes SV 's, apresentados na tabela 2, para diversos resíduos alimentares.

| Autor  | Zhang et al (2006) | Li et al(2011) | Zhang et al (2011) | Browne et al (2012) | Zhang et al (2013) |
|--------|--------------------|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| SV (%) | 26,4               | 22,6           | 17,1               | 27,6                | 21,0               |

Tabela 2. Composição de SV característica dos resíduos alimentares.

Fonte: ROCHA (2016)

Utilizando o valor médio dos dados de SV mostrados na tabela 2, obtém-se o valor de 23%, ou seja, dos resíduos totais apenas essa porcentagem é útil no processo de transformação de energia. Tendo assim, um valor líquido de 17,8 kgSV/dia.

Segundo Ferreira 2015, uma tonelada de resíduos sólidos é capaz de produzir em média, cerca de 400 m³ de metano por quilo de SV, ou seja, um quilo de sólidos é capaz de gerar uma produção média de 0,4 m³/SVkg. Essa conversão é importante, pois para análise de um biodigestor, a produção varia entre quilos. Portanto, a quantidade estimada de metano gerada pela decomposição de resíduos orgânicos, pelo refeitório da Instituição analisada foi determinada pela Equação 1, onde se obtém o resultado de 7,1 m³/ dia.

$$(PPM) = (PMQS) \times (VUS) \tag{1}$$

PPM = Potencial de Produção de Metano (m³/dia)

PMQS = Produção média por quilo de sólidos (m³/SV kg)

VUS = Valor útil do sólido (kg SV/dia)

O poder calorífico inferior do metano adotado é de 9,9 kWh/m³, valor determinado por Coldebella et al. (2006). Desta forma, se torna possível realizar o cálculo da estimativa do potencial energético do gás metano produzido a partir do produto entre o poder calorífico e a produção média de metano, com isso, a estimativa diária atinge um valor de 70,1 kWh/dia. Considerando apenas dias úteis, que geralmente correspondem aos dias de funcionamento do RU analisado, a produção estimada mensal deste campus é de algo em torno de 1472,1 kWh/mês, conforme dados apresentados na tabela 3.

|                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Resíduos Totais                 | 1159,00 Kg/dia   |
| Valor útil do sólido SV (23%)   | 17,80 Kg SV/dia  |
| Produção média de metano        | 0,40 m³/kg de SV |
| Potencial de produção de Metano | 7,10 m³/dia      |
| Potencial energético            | 70,10 kWh/dia    |
| Potencial energético            | 1472,10 kWh/mês  |

Tabela 3. Potencial e produção energética dos resíduos do RU.

Fonte: Autoria própria (2022)

## 4.2 Cálculo do volume de água

Dando sequência a análise, considerou-se o uso de um biodigestor de digestão úmida e contínua. A fim de se usar tal equipamento, é necessário que haja umidificação no resíduo de forma que possua apenas um percentual de 15% de Sólidos Totais, pois a literatura recomenda que a matéria orgânica tenha uma consistência de 10 a 20% de matéria seca ou menos.

Para se definir qual será a quantidade de sólidos totais que deverá ser adicionada no biodigestor, foi usado o valor de 25% de ST<sup>1</sup> (sendo uma média dos valores encontrados em diversas bibliografias), na Equação 2, tendo assim, um valor obtido de 19,3 kg/dia. Esse valor representa a parte sólida seca da produção diária, desconsiderando 75% de umidade dos resíduos.

$$CST = [ PD \times STI ] / 100 \quad (2)$$

CST = Carga de ST adicionada diretamente no biodigestor (kg/dia)

PD = Produção diária de resíduos (kg/dia)

STI = Fração sólida do substrato inicial (%)

Tomando como base essa medida, nota-se que, diariamente 19,3 kg de ST são inseridos ao tanque de digestão, porém, como é essencial que esses resíduos sejam adicionados ao tanque com 15% o ST anterior de 25% será diluído até que essa porcentagem seja alcançada. Através da Equação 3 foi possível determinar que a massa total de alimentação diária será de 128,7 kg/dia.

$$MT = [ CST \times 100 ] / STF \quad (3)$$

MT = Massa total de alimentação diária (kg/dia)

<sup>1</sup> ST é sólido total, corresponde a massa de matéria seca (matéria orgânica e inorgânica sem a presença de água) presente no substrato que é destinado para a produção de biogás.

CST = Carga de ST adicionada diretamente no biodigestor (kg/dia)

STI = Fração sólida do substrato final (%)

Portanto, será colocado ao tanque de digestão 128,7 kg de substrato úmido por dia, como dessa quantia 77,3 kg são de resíduos orgânicos e um percentual dessa quantia já é úmido, a parte adicionada ao restante será água, a qual a relação que define a quantidade de água em kg/dia é expressa na equação 4.

$$\text{Peso da água a ser adicionada: } 128,7 \text{ (kg/dia)} - 77,3 \text{ (kg/dia)} = 51,4 \text{ kg/dia.} \quad (4)$$

Sabendo que a densidade da água é de 1000kg/m<sup>3</sup>, então, o volume de água que deve ser adicionado será de 0,0514 m<sup>3</sup>, ou seja, 51,4 litros.

### 4.3 Cálculo do volume do biodigestor

O resíduo orgânico possui uma massa específica de 504,70 kg/m<sup>3</sup> (SGORLON, 2011), porém, para os cálculos aqui realizados, admitiu-se o valor de 430 kg/m<sup>3</sup> para o RU da Instituição. Sendo assim, para uma geração média diária de 77,3 kg (já anteriormente informada), tem-se 0,18 m<sup>3</sup> de resíduo alimentar.

Como o volume de água a ser adicionado ao tanque, para que o substrato tenha 15% de ST, é de 0,0514 m<sup>3</sup>, a vazão total de entrada será igual a: (0,18 m<sup>3</sup> + 0,0524 m<sup>3</sup>) = 0,2312 m<sup>3</sup>. Dessa maneira, o volume do digestor será determinado pela Equação (5) e Equação (6).

$$V \text{ Digestor câmara 1} = 0,2312 \text{ (m}^3\text{/dia)} \times 5 \text{ dias} = 1,160 \text{ m}^3 \quad (5)$$

$$V \text{ Digestor câmara 2} = 0,2312 \text{ (m}^3\text{/dia)} \times 25 \text{ dias} = 5,802 \text{ m}^3 \quad (6)$$

As dimensões das câmaras 1 e 2 são distintas, levando em consideração o volume, altura escolhida e a área da base de cada uma, formando um tanque cilíndrico. Para que o dimensionamento atenda o volume da câmara 1 (onde ocorre a hidrólise), visando a ergonomia e funcionalidade, adota-se 1 metro de altura, evitando que fique profunda, facilitando sua manutenção, além de ser um número inteiro fácil de se atingir. Conforme a equação do volume de um cilindro, o raio desta câmara deverá ser igual a 0,61 metros. Já para a câmara 2 (onde ocorre a transformação do 26 acetato, do hidrogênio e do óxido de carbono em metano), admitindo uma altura de 2 metros, o raio deverá ser igual a 0,96 metros.

Para finalizar as análises, vale mencionar que segundo o manual da empresa BGS Equipamentos, um fogão do tipo Cooktop que possui queimador duplo fazendo uso de biogás, tem uma taxa de consumo de 0,45 m<sup>3</sup>/h de biogás por queimador. Como o volume



de biogás produzido diariamente pelos resíduos analisados nesse estudo é de 7,1 m<sup>3</sup>, seria possível manter acesa a chama de um queimador cerca de 15h por dia. Além de que, segundo PROSAB 2003, um m<sup>3</sup> de biogás corresponde a cerca de 0,396L de gás liquefeito de petróleo (GLP), logo, para a capacidade de geração de 7,1 m<sup>3</sup>, é produzido diariamente o equivalente a 2,8L de GLP, tendo ao final de um mês 72,8L gerados, compensando cerca de 18,2% de todo o uso de GLP efetuado pelo restaurante universitário.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foi realizada uma análise com o objetivo de encontrar uma alternativa para lidar com os resíduos alimentares provenientes do Restaurante Universitário da UFERSA, localizado no Campus Mossoró. A proposta consiste em utilizar esses resíduos para a produção de biogás, visando reduzir a necessidade de GLP. Essa iniciativa tem o propósito de aproveitar os alimentos não consumidos, que seriam descartados inicialmente, e convertê-los em biogás, resultando na redução dos impactos ambientais causados por essa fonte poluente. Ao diminuir as emissões de metano orgânico e CO<sub>2</sub> na atmosfera, essa alternativa se configura como uma opção ao uso de GLP, ao mesmo tempo em que contribui para a mitigação dos impactos ambientais relacionados ao descarte desses resíduos. Com base nos dados coletados, foi possível identificar o potencial e estimar a produção energética do biogás, selecionando e dimensionando um modelo de biodigestor bifásico de digestão úmida e contínua que pudesse atender à demanda dessa geração de resíduos.

Embora não tenha sido o foco deste trabalho abordar os aspectos financeiros e educacionais da implementação desses biodigestores, é importante mencionar que os temas abordados aqui apresentam, de forma didática, conteúdos que podem ser trabalhados teoricamente em disciplinas que tratam de fontes de geração de energia ou gestão eficiente de resíduos sólidos, bem como auxiliar no desenvolvimento de projetos que envolvam o uso de biomassa e a consideração de seus aspectos financeiros.

Todavia esses aspectos representam um desafio significativo para os refeitórios universitários, visto que além de exigir um investimento inicial significativo, os processos e ações necessárias para manter adequadamente um biodigestor requerem um uso significativo de recursos.

Apesar dos possíveis desafios, a análise de viabilidade realizada neste estudo demonstra que a implementação de um biodigestor para a produção de biogás a partir dos resíduos orgânicos do Restaurante Universitário da UFERSA, Campus Mossoró, apresenta-se como uma alternativa promissora. Ao adotar o biogás como fonte de energia para a cozinha, é possível alcançar uma significativa economia mensal. Com base nos dados fornecidos no questionário, foram realizadas estimativas relacionadas ao gasto mensal com gás de cozinha sendo aproximadamente R\$ 7.115,5 e a partir da compensação de

18,2 % a economia obtida ao utilizar biogás seria de R\$ 1.295,021, é evidente uma notável redução nos custos relacionados a esse recurso.

Considerando que o preço do gás de cozinha pode sofrer variações no mercado, o biogás apresenta uma vantagem adicional de estabilidade de custos. Uma vez que o biogás é produzido internamente, a dependência de fornecedores externos e das flutuações de preços é reduzida, proporcionando uma previsibilidade financeira maior.

Vale ressaltar, que todo trabalho se baseou apenas nos dados aferidos durante o período do almoço, sem considerar os resíduos provenientes do jantar, podendo assim, ter um aumento significativo em sua geração. Ademais, fica necessário salientar, que essa geração não será constante durante todo o ano, já que, em decorrência de recessos e feriados, o restaurante universitário tem seu funcionamento interrompido. Recomenda-se para trabalhos futuros, o levantamento de um intervalo contínuo de dados, para que as análises feitas possam apresentar estimativas mais próximas do cenário real da geração de biogás.

## REFERÊNCIAS

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite**. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.

Como a compostagem pode ajudar na gestão de resíduos sólidos. **tera ambiental**, São Paulo, 22 de fev. de 2017. Disponível em: <<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/como-a-compostagem-pode-ajudar-na-gestao-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 3 de jul. de 2023.

DEVIS, Julio Mario Rodríguez. Biodigestor: una aproximación al diseño. **Ingeniería e Investigación**, n. 3, p. 75-82, 1982.

Índice Global do Desperdício de Alimentos da ONU estima em 121 quilos o desperdício de comida per capita anual. Embrapa.br. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59945046/indice-global-do-desperdicio-de-alimentos-da-onu-estima-em-121-quilos-o-desperdicio-de-comida-per-capita-anual>> . Acesso em: 18 nov. 2022.

FERREIRA, B. O. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos orgânicos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2015. 124f.

FLORENTINO, H. O. **Mathematical tool to size rural digesters**. Scientia Agricola, v. 60, p.185-190, 2003.

IUS NATURA. **Resíduos alimentares I Como descartá-los corretamente?** Ius Natura. Disponível em: <<https://iusnatura.com.br/residuos-alimentares-descarta-los-corretamente/#:~:text=O%20que%20s%C3%A3o%20res%C3%ADduos%20alimentares,Nutri%C3%A7%C3%A3o%20s%C3%A3o%20os%20res%C3%ADduos%20alimentares>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

MARTINS, André. **Entenda como o desperdício de alimentos pode afetar o meio ambiente.**

**Exame.** Disponível em: <<https://exame.com/bussola/entenda-como-o-desperdicio-de-alimentos-pode-afetar-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação.** 2008. xiii, 87 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90653>>.

**População mundial atinge 8 bilhões de pessoas.** ONU News. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342#:~:text=ONU%20ressalta%20que%20n%C3%BAmero%20de,a%209%20milh%C3%B5es%20em%202037>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

PROSAB: Programa de Pesquisas em Saneamento Básico; Rede Cooperativa de Pesquisas/ **Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás.** Coordenador: Cassini, S. T., 2003.

ROCHA, C. M. **Proposta de Implantação de um Biodigestor anaeróbico de resíduos alimentares.** Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

SGORLON, Juliana Guerra et al. Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbico de resíduos fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 4, p. 421- 424, 2011.

SILVA, Júlia Caroline da et al. **Estudo da metanização de resíduos alimentares como fonte de energia no restaurante universitário da UFSC**, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195648>>.

VANDEVIVERE, P.; DE BAERE, L.; VERSTRAETE, W. **Types of anaerobic digester for solid wastes** In: Mata-Alvarez J, editor. Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. 2002.

VIEIRA, H. G.; POLLI, H. Q. O BIOGÁS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 388–400, 2020. DOI: 10.31510/inf.v17i1.766. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/766>>. Acesso em: 3 jul. 2023.

# COZIMENTO DE CERÂMICA ARTESANAL: ENTRE O TRADICIONAL E O MODERNO

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Erasmus Borges de Souza Filho**

Universidade Federal do Pará

**Jailton Gomes da Silva**

Universidade Federal do Pará

**Maria Rosilene Pereira Trindade**

Universidade Federal do Pará

**RESUMO:** O presente texto é resultante da pesquisa intitulada “Processos de cozimento em cerâmica artesanal”, com ênfase na relação entre o tradicional e o moderno, desenvolvida nos anos de 2019 a 2022, na Universidade Federal do Pará, em articulação com ceramistas do Polo Cerâmico de Icoaraci, distrito de cidade de Belém do Pará. O projeto de pesquisa teve como objetivo fazer um estudo dos processos de cozimento da cerâmica artesanal e utilitária, em fornos tradicionais tipo “caieira”, com controle de temperatura digital e uso do termopar, estabelecendo-se a relação entre o processo empírico e

a medição. A pesquisa foi desenvolvida em duas importantes Olarias de Icoaraci, a Olaria do Espanhol que esse ano completou 120 anos de existência, e a Olaria do sr. Rosemiro Pinheiro Pereira, com 60 anos de existência. Ambas as são referências na produção cerâmica em Belém, atuando tanto na produção utilitária, quanto de cerâmicas com inspiração marajoara. Do ponto de vista teórico relativa a esse tópico da pesquisa, este foi referendado em Jorge Chitti (1997), Maria Helena Canotilho (2003) e Nino Caruso (2003). Assim, este texto apresenta os resultados parciais da pesquisa, em que a interseção entre o tradicional e o moderno, ou, entre o saber da tradição e a tecnologia, propiciam resultados extremamente positivos, no processo de cozimento da cerâmica.

## INTRODUÇÃO

Os vestígios cerâmicos mais antigos encontrados na região Amazônica datam em mais de 7.000 anos aP<sup>1</sup>, na

---

1 aP é a sigla para antes do presente (AP). É uma marcação de tempo utilizada na arqueologia, paleontologia e geologia, que tem como base de referência o ano de 1950 d.C., por ser um “marcador” por conta dos testes atômicos realizados durante a Segunda Guerra Mundial que desequilibraram a concentração química de alguns isótopos na atmosfera. (TAYLOR, 1985; DINCAUZE, 2000). Esses isótopos, a exemplo do carbono-14, determinam a idade de achados arqueológicos quando analisados em pesquisas científicas.

região de Taperinha, em um sambaqui<sup>2</sup> na planície aluvial do rio Amazonas, próximo a cidade de Santarém, no Estado do Pará, que “fue inicialmente identificado por Hartt (1885) en el siglo XIX y investigado posteriormente por Roosevelt”. (JUNIOR et al, 2017). Outros vestígios também antigos foram encontrados entre 1550 anos e 420 anos aP, encontrados no lago Tefé, no Estado do Amazonas. entre 400 e 1.530 d.C., encontrados no lago Tefé, no Amazonas (mamiraua.org.br).

Os vestígios encontrados apresentam uma cerâmica elaborada, com traços e policromia semelhantes as cerâmicas arqueológicas mais recentes. Isso leva a crer na possibilidade da presença da cerâmica ser mais antiga, considerando o seu processo inicial de confecção como conhecemos hoje, até a elaboração final, que exigiria um tempo de refinamento e de elaboração, que aos poucos vão sendo desvendados nas pesquisas arqueológicas na região, em que grande desse patrimônio material, parece ser muito mais abundante, do que as pesquisas foram capazes de descobrir, e que seguem em grande parte ainda desconhecidos.

A elaboração da pasta cerâmica e as técnicas de modelagem, embora semelhantes, variam de região para região em relação ao uso de antiplásticos, fundentes e refratários, de acordo com a utilidade da cerâmica (CHITTI, 1997; CARUSO, 1986). Por outro lado, o processo de cozimento da cerâmica, praticamente ainda se mantém, com poucas variações regionais, tal qual ainda é utilizado pelos povos originários da Amazônia, prática essa assimilada pelos grupos e populações regionais que se dedicam ao fazer cerâmico, a exemplo de populações ribeirinhas ou região das ilhas, no Estado do Pará.

O sistema de cozimento é denominado de coivara, ou “queima a céu aberto”. As peças cerâmicas após a secagem, são empilhadas e sobre elas disposta a lenha necessária ao cozimento, por um período de tempo não superior a 3h (Fig.1).

---

2 Os sambaquis são sítios arqueológicos formados predominantemente por conchas, e são lugares significativos de ocupação humana. (JUNIOR et al, 2017)



Figura 1. Cozimento de cerâmica por coivara, ou a “cêú aberto”, na Vila Quiera, em Bragança, PA. A) Empilhamento das peças; B) Cozimento com lenha sobrepostas as peças; C) Finalização do cozimento; D) Retirada das peças ainda quentes.

Fonte: Autoria própria, 2022.

No início do século XX, a antiga Vila Pinheiro, hoje distrito de Icoaraci, na região metropolitana de Belém, já se caracterizava como um polo de produção cerâmica utilitária. A modelagem que era feita manualmente no sistema tradicional de “rolinhos” e o cozimento em coivara, sofre uma grande transformação, com o surgimento da Olaria do Espanhol.

Ela foi fundada em 1903 pelo mestre João Espanhol, originário de Maiorca na Espanha. Ele foi o responsável pela implantação da modelagem manual com o uso do torno de madeira (Fig. 2A), e o cozimento em forno artesanal feito de tijolos convencionais de construção, conhecido como “forno caieira” (Fig. 2B), que rapidamente passaram a ser adotados pelas olarias do distrito de Icoaraci e em outras regiões, com poucas variações nos dias de hoje.

A cozimento da cerâmica em particular, objeto da pesquisa, mesmo resultando em peças de melhor qualidade, o controle ainda é feito visual, pela coloração da peça no processo de cozimento no forno (Fig.3), e pelo tato, sentindo-se a intensidade do calor nas mãos, a medida em que o forno vai aumentando de temperatura, e também pela intensidade e coloração da fumaça expelida.





Figura 2. A) Torno de madeira em Fazendinha, Município de Bragança, PA; B) Forno tipo caieira na Olaria do Espanhol, Icoaraci, Belém, PA.

Fonte: autoria própria, 2021



Figura 3. Coloração das peças na finalização do processo de cozimento.

Fonte: autoria própria, 2021

A pesquisa começou a ser esboçada a partir de junho de 2018, quando realizamos uma palestra sobre processo de cozimento cerâmica a gás, no encontro “Entre a arte a ciência e a sapiência na cerâmica”, promovido pela Casa do Artista de Icoaraci, em parceria com a Faculdade de Artes Visuais, FAV-UFPA. Nesse evento, entre os participantes estiveram presentes três ceramistas de Icoaraci, entre eles o Ciro Croelhas, neto do mestre João Espanhol e atual dono da Cerâmica do Espanhol.

Foi um momento muito importante de trocas de experiências e um marco na divulgação do controle digital do cozimento da cerâmica com o uso do termopar, e a “queima” a gás. O Ciro mostrou-se muito interessado em conhecer esse processo, e, nos anos seguintes, a Cerâmica do Espanhol tornou-se um espaço de pesquisa da FAV-UFPA, no acompanhamento e controle do cozimento da cerâmica utilitária entre outras ações. Posteriormente, a pesquisa estendeu-se para a Olaria do sr. Rosemiro Pinheiro Pereira, o Mestre Rosemiro, também uma importante referência em termos de cerâmica em Icoaraci,

na produção tanto de peças utilitárias, quanto de cerâmicas com inspiração marajoara.

## METODOLOGIA

A articulação entre a UFPA e os ceramistas tiveram início em 2019, primeiramente com atividades extensionistas, estendendo-se até 2022 com a pesquisa propriamente dita, constituída das seguintes etapas: a) o estudo e análise do processo de construção e funcionamento do forno artesanal, e os principais problemas recorrentes; b) Acompanhamento do cozimento tradicionalmente feito nas olarias, com o controle digital de temperatura; c) Elaboração de da curva tempo/temperatura dos fornos em estudo; d) Avaliação e análise dos resultados nas peças cerâmicas cozidas; e) Sugestões de adaptações na estrutura do forno para um maior aproveitamento das peças, com a manutenção da energia térmica e uniformidade da temperatura no interior do forno.

O forno “caieira” tem o formato quadrado ou retangular, construído com tijolos regionais de seis furos, e composto de duas partes. A parte inferior é a base, onde fica a fornalha para a alimentação do fogo com lenha e sobras de madeira de várias origens, podendo ter uma ou duas entradas para alimentação do fogo. A parte superior está localizada acima dos ladrilhos horizontais que formam o piso do forno, onde são colocadas as peças cerâmicas. O piso é formado por tijolos espaçados entre 1cm a 2cm entre si, para a passagem das chamas, e é sustentado por arcos localizados na fornalha.

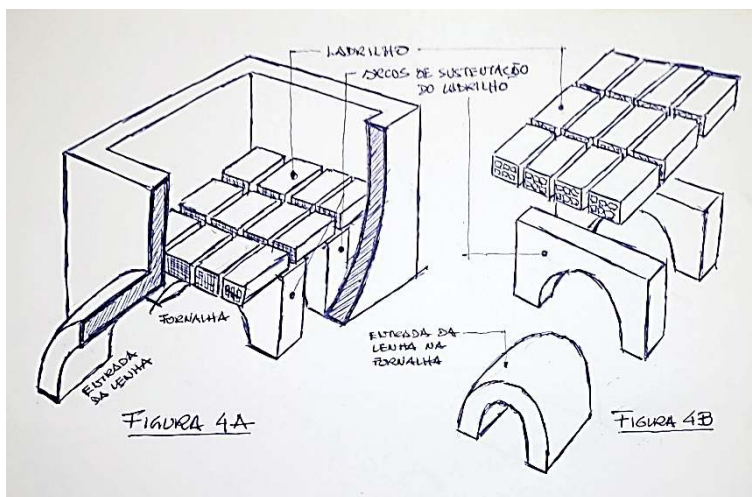


Figura 4. A) Desenho do forno “caieira” parcialmente seccionado; B) Em perspectiva expandida a boca da fornalha, os arcos de sustentação do ladrilho e o ladrilho do forno.

Fonte: autoria própria, 2023

Todo o processo de cozimento das peças cerâmicas dura em torno de 8h a 10 h, dependendo da carga de peças e de suas disposições no forno, com o aquecimento inicial



do forno com chama branda, conhecido como “esquente”, para a evaporação gradual da água da pasta, até a liberação da molécula de água de constituição da argila, em torno dos 220 °C (CHITI, 1997; CANOTILHO, 2003).

No acompanhamento do forno com o controle digital temperatura, em várias fornadas de diferentes peças, observou-se o seguinte: a) as peças localizadas nos quatro cantos do ladrilho do forno, apresentação um cozimento diferenciado e menor em relação a temperatura do forno, em relação as que são colocadas na parte central, inclusive na coloração; b) Peças de maior espessura e de tamanho maiores, como no caso dos filtros de água e alguidares, apresentam trincas ou fissuras, quase que imperceptíveis, mas detectadas pelo som da peça e pelo uso de água para a sua localização. No caso dos filtros, a perda das peças era significativa; c) presença de estouro parcial de peças, possivelmente provocadas por presença de bolsão de ar e/ou matéria orgânica, que na cozedura, expellem gás sem ter escapatória; d) Consumo considerável de lenha na combustão do forno; e) Grande perda de energia térmica, uma vez que a abertura superior do forno funciona como uma “grande chaminé”, mesmo depois de cobertas com cacos de telha, depois das peças arrumadas, com o intuito de reduzir essa abertura e a perda de energia para o ambiente.

Embora o cozimento chegasse a 800 °C ou mais, e em alguns casos as peças mais espessas, nem sempre ficavam totalmente cozidas, pelo registro de partes escuras verificadas no interior da peça.

Outro aspecto importante, ao se monitorar o forno com dois controladores digitais, um localizado no meio da parede lateral para captar a temperatura na parte central do forno, e o outro localizado no canto do forno, observou-se uma variação considerável da temperatura de cozimento, em que as peças centrais eram submetidas a uma maior intensidade de calor do que as do canto. Essa variação de temperatura diminuía a medida que o forno ia ganhando pressão, a medida que as peças iam se aproximando dos 800 °C (Fig.5). No dia seguinte, quando o forno foi aberto, a temperatura em ambos era de 61°C.



Figura 5. Variação da temperatura no mesmo forno. O Controlador com marcador digital vermelho monitora a parte central do forno e o controlador de cabo amarelo monitora o canto.

Fonte: autoria própria, 2022

## RESULTADOS

A partir das observações e análise dos resultados obtidos, e em face dos problemas detectados, algumas sugestões essenciais de adaptação foram efetivadas no forno, mantendo a sua forma e aparência originárias, conforme a seguir: a) No ladrilho, os tijolos centrais foram unidos, eliminando-se o espaço que havia entre eles, permanecendo o espaço apenas nos tijolos laterais do ladrilho, simulando-se uma grande placa com abertura apenas nas laterais, para direcionar a chama da fornalha para as laterais e principalmente os quatro cantos, e o calor ser irradiado destes para a parte central, para obter-se uma uniformidade no processo de cozimento; b) Cobrir de forma mais compacta a boca do forno, nas peças laterais e nos cantos, com o intuito de forçar a saída da chama pelo centro, com o mesmo propósito do item anterior, diminuindo também o distanciamento das temperaturas no interior do próprio forno entre as extremidades e o centro; c) Com o controlador, o mesmo tempo de “esquente” no início a uma temperatura branda, se repetia no patamar entre 500 e 600 °C, uma vez que em torno de 573 °C ocorre a dilatação do quartzo (CASTIÑEYRA, 2015), ou seja, se o cozimento for muito acelerado nesse patamar, como vinha ocorrendo sem o controle, haveria o risco de trincas.

A partir dessas mudanças, obteve-se os seguintes resultados, do ponto de vista tecnológico e econômico: a) Melhoria efetiva no controle de cozimento ressignificando-se o processo visual e tátil anteriormente utilizado; b) Maior aproveitamento das peças e melhor qualidade das peças, com o cozimento controlado, chegando-se em muitas fornadas

a 100%, e uma redução significativa nas perdas por exploração ou trinca; b) Redução significativa no uso e consumo de lenha durante o processo de cozimento, gerando uma grande economia e uma melhor relação custo-benefício.

Do ponto de vista social e educativo, a troca de saberes efetivada durante a pesquisa, trouxe também os seguintes resultados: a) A experiência despertou o interesse entre outros ceramistas que passaram a adotar o mesmo sistema; b) A Olaria do Espanhol expandiu ainda mais as suas ações, tornando campo de estágio para alunos da UFPA, e de ações educativas abertas a Comunidade e a rede escolar do Município; c) A troca de saberes também ajudou a impulsionar as práticas ceramistas no Laboratório de Cerâmica e de Escultura, no Curso de Artes Visuais; d) Maior proximidade entre a Academia e os Saberes da tradição.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo a cerâmica um dos focos dos saberes da tradição, estes constituem a riqueza cultural de um grupo, de um povo. São construções de conhecimentos das populações tradicionais, sabedorias edificadas longe da experiência escolar e da educação formal, e que podem e devem estabelecer interseções com a academia, com ganhos para ambas as partes.

São saberes constituído pelo desenvolvimento de uma escuta e uma visão apuradas dos fenômenos físicos, do comportamento dos materiais, seu uso de acordo com as dinâmicas climáticas, da percepção com nitidez e dialogia entre a diversidade da natureza e a unidade do padrão que a interliga. Esses saberes desenvolvidos às margens do conhecimento escolar da Ciência, repassado de geração em geração, de forma oral e experimental, constituem modelos cognitivos de pensamento não encerrados em culturas do passado, mas uma ciência primeira que convive ao lado das tecnociências do mundo atual por não representar um conhecimento das sociedades do passado, mas de modelos de compreensão do mundo que constitui a condição humana (Almeida, 2010).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria da Conceição de; CENCIG, Paula Vanina (org.). **A natureza me disse**. Natal: Flecha do Tempo, 2007.

CANOTILHO, Maria Helena Pires César. **Processos de cozedura em cerâmica**. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança, 2003.

CARUSO, Nino. **Cerâmica viva**. Manual práctico de la técnica de elaboración cerámica. Barcelona: Ediciones Omega, 1986.

CASTIÑERA, Isabel Blasco et al. **Análisis y descripción gráfica del funcionamiento de los Hornos cerámicos**. Madrid: Escuela de Arte Francisco Alcántara, 2015.

CHITI, Jorge Fernández. **Curso práctico de cerâmica**. 4 tomos. Buenos Aires: Condorhuasi, 1997.

DINCAUZE, Dena. **Measuring time with isotopes and magnetism**. Environmental Archaeology: Principles and Practice. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2000. P. 110

JUNIOR, Francisco Antonio Pugliese et al. Los concheros de la Amazonía y la historia indígena profunda de América del Sur. In: ROSTAIN, Stéphen; BETANCOURT, Carla Jaimes. **Las Siete Maravillas de la Amazonía precolombina**. La Paz, Bolivia: Plural, 2017. P.27-46

MAMIRAU.A.ORG.BR. <<https://www.mamiraua.org.br/noticias/pela-primeira-vez-sao-obtidas-datas-de-vestigios-ceramicos-do-lago-tefe-am>>. Acesso em 14 de junho de 2023.

TAYLOR, R.E. The beginnings of radiocarbon dating in American Antiquity: a historical perspective. American Antiquity. V.50. N.2. England: Cambridge University Press, 1985. P.309-325.

# USO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO CORRETORES NO SOLO

*Data de aceite: 02/01/2024*

### **Esther Aparecida dos Santos**

Estudante de Graduação em Agronomia  
na Atitus Educação; Bolsista PIBIC

### **Rodrigo de Almeida Silva**

Professor Dr. em Engenharia Civil  
<http://lattes.cnpq.br/7640397029069301>

**RESUMO:** A construção civil e a agroindústria geram uma quantidade significativa de resíduos, utilizando este contexto a busca por soluções sustentáveis é uma prioridade. A casca de arroz (CA) é um subproduto agrícola gerado através do beneficiamento do arroz, considerada como resíduo, a casca de arroz, principalmente em formato de cinza, tem demonstrado diversos benefícios na construção civil e na agricultura. A reciclagem dos Resíduos da Construção Civil (RCC) varia de acordo com a sua utilização, porém o seu reaproveitamento garante a diminuição de extração de recursos naturais. Os resultados indicaram que a cinza de casca de arroz e o RCC atuaram como corretivos de acidez do solo. Este artigo tem como objetivo abordar aspectos importantes sobre a possibilidade da reutilização desses resíduos na agricultura, visando minimizar

os impactos ambientais gerados por estes resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura;  
Construção civil; Impactos ambientais.

## USE OF RICE HUSK ASH AND CONSTRUCTION WASTE AS AMENDMENTS IN SOIL

**ABSTRACT:** The construction industry and agro-industry generate a significant amount of waste, given this context the search for sustainable solutions is a priority. Rice husk (RH) is an agricultural byproduct generated through rice processing, considered as waste, rice husk, especially in its ash form, has shown various benefits in the construction industry and agriculture. The recycling of Construction and Demolition Waste (CDW) varies according to its use, however, its reuse ensures a reduction in the extraction of natural resources. The results indicated that rice husk ash and CDW acted as soil acidity correctors. This article aims to address important aspects regarding the possibility of reusing these wastes in agriculture, aiming to minimize the environmental impacts generated by these residues.

**KEYWORDS:** Agriculture; Construction

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos na agricultura está condicionada à sua origem e às características químicas, incluindo a disponibilidade de nutrientes. Essa prática pode se mostrar significativa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, ao considerar a viabilidade de sua utilização.

Os resíduos provenientes da construção civil representam aproximadamente 50% do total anual global de resíduos sólidos gerados (Daoud et al., 2020). Esses resíduos têm sido objeto de estudos como material adsorvente para remover metais tóxicos de efluentes, além de serem utilizados como componente em aterros de pasta cimentada em áreas de mineração subterrânea, construção de estradas e em obras não estruturais (Wang e Chen, 2017; Kumara et al., 2017; Ylmaz e Ercikdi, 2021). Yu et al. (2018) e Reis et al. (2020) recomendam que, antes da utilização dos RCCs, seja realizada uma avaliação do potencial de contaminação e bioacumulação. Essa avaliação pode ser feita por meio das técnicas de DRX (Difração de raio-x) e FRX (Fluorescência de raio-x), que permitem avaliar a presença e quantidade de minerais.

No decorrer do processamento do arroz, ocorre um procedimento de beneficiamento que leva à eliminação da casca que envolve o grão. Esse invólucro, denominado subproduto agrícola, transforma-se em um resíduo indesejado para os produtores de arroz. Devido ao seu reduzido valor no mercado e à escassa motivação para sua aplicação na área agrícola, isso se apresenta como um desafio de grande magnitude para os produtores (Saidelles et al., 2012).

Há uma necessidade de estudar e analisar o potencial tóxico destes resíduos usando técnicas físico-químicas e de bioindicadores é necessária (Bittencourt et al., 2012; Yu et al., 2018).

## 2 | MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização dos Materiais

#### 2.1.1 *Resíduo da Construção Civil*

Utilizou-se amostras de RCC classe A (CONAMA N° 307), em material conhecido como cinza (composto por argamassa e concreto) e outro material denominado de vermelho (cerâmica, blocos cerâmicos e tijolos).

| Componentes                    | Valor (%) |
|--------------------------------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 64,02%    |
| CaO                            | 17,89%    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,90%     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,77%     |
| SO <sub>3</sub>                | 2,78%     |
| K <sub>2</sub> O               | 1,83%     |
| MgO                            | 1,7%      |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,67      |
| Outros                         | 0,33%     |

Tabela 1. Composição química da amostra de RCC.

O SiO<sub>2</sub> (Sílica) tem maior abundância na composição química do RCC.

### 2.1.2 Cinza de Casca de arroz

A CCA utilizada neste trabalho é procedente da empresa Sílica Nobre – Sílica de Casca de Arroz – SVA, Sílica Verde do Arroz LTDA. Obtida através da combustão controlada da casca de arroz. A CCA contém cerca de 90% da sua composição por Sílica (Della et al., 2001).

### 2.1.3 Latossolo Vermelho

Foi utilizada amostras de solo descendente de uma residência localizada na cidade de Passo Fundo/RS, classificado como Latossolo Vermelho de acordo com o SiBCS (Sistema de Classificação de Solos do Brasil), em que após a coleta foi separado para as misturas e análise de pH.

### 2.1.4 Fertilizante

A cinza da casca de arroz geralmente é pobre em nitrogênio (N) (Islabão et al., 2014), um dos principais nutrientes para as plantas. Portanto, foi escolhido utilizar um fertilizante de classe A (Instrução Normativa SDA nº 23) como a principal fonte de nitrogênio e matéria orgânica para o solo.

## 2.2 ENSAIO QUÍMICO

Foram separadas 4 misturas para análise de pH em que:

---

Mistura 1: 100% de solo comum (274g);

---

Mistura 2: 50% de solo comum (137g), 15% de RCC (41g) e 35% de Húmus (95g);

---

Mistura 3: 50% de solo comum (137g), 25% de cinza de casca de arroz (68g) e 25% de Húmus (68g);

---

Mistura 4: 50% de solo comum, 25% de RCC e 25% de cinza de casca de arroz.

---

Tabela 2. Quantidade de cada elemento nas misturas.



Figura 1. Misturas preparadas para análise de pH.

### 3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados das 4 misturas foram os seguintes:

|                    |
|--------------------|
| Mistura 1: pH= 4,9 |
| Mistura 2: pH= 7,1 |
| Mistura 3: pH= 6,1 |
| Mistura 4: pH= 7,2 |

Tabela 3. Resultados do pH das misturas.

Na mistura 1 o solo obtido para análise é naturalmente ácido. Solos com pH entre 4,5 e 5,0 tem altas incidências de toxidade por Alumínio (Al<sup>3+</sup>) e Manganês (Mn<sup>2+</sup>).

As misturas 2 e 4 demostram que o RCC teve influência no aumento do pH do solo ficando entre a escala 7, que é considerado um pH neutro.

A mistura 3 demonstrou o resultado mais positivo, com pH entre 6,1 e 6,5. Essa escala é ideal para o solo porque tem a maior disponibilidade de nutrientes (Batista et al., 2018).

Geralmente em solos com o pH ácido a aplicação de calagem se torna, assim, um elemento crucial para aumentar a produtividade agrícola. (Sousa, Vahl e Otero, 2009). Porém, as outras misturas comprovam que a CCA e o RCC fornecem um resultado condizente ao uso do calcário. O fertilizante não contém muita influência sobre o pH do



solo em comparação aos resíduos.

## 4 | CONCLUSÃO

A Cinza de Casca de Arroz e os Resíduos de Construção Civil possuem características desejáveis para a recuperação de solos por conterem diversos elementos necessários para um bom desenvolvimento das plantas, melhoram aspectos químicos do solo como a estabilização do pH, podendo ser elementos suficientes para considerar a possibilidade de substituir o calcário convencional.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. A., Inoue, T. T., Neto, M. E., & Muniz, A. S. (2018). Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral (pp. 113–162). <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>
- BITTENCOURT, S., Serrat, B. M., Aisse, M. M., De Souza Marin, L. M. K., & Simão, C. C. (2012). Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, 17(3), 315–324. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522012000300008>
- DAOUD, AO et al. Uma investigação sobre o problema de resíduos sólidos na indústria de construção eólica: uma mini-revisão. *Gestão e Pesquisa de Resíduos*. V. 38:4, pág. 371-382, 2020.
- DELLA, V. P., Kühn, I., & Hotza, D. (2001). Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. *Química Nova*, 24(6). <https://doi.org/10.1590/s0100-40422001000600013>
- FERNÁNDEZ-NARANJO et al. Reciclagem de resíduos de construção e demolição na reabilitação mineira. Tradução sobre Ecologia e Meio Ambiente, vol.202: 28-35, 2016.
- ISLABAO, G. O. et al. Cinza de casca de arroz como corretivo de acidez do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2014, vol.38, n.3, pp. 934-941. ISSN 0100-0683. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100068320140003000025&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100068320140003000025&script=sci_abstract&lng=pt)>
- KUMARA, GMP et al.. Revisões sobre a aplicabilidade de resíduos de construção e demolição como adsorventes de baixo custo para remover metais pesados em águas residuais. *Revista Internacional de Geomate*. Vol.14, pp.44-51, 2018.
- REIS, GS; e outros Adsorção e recuperação de fosfato de solução aquosa pelas lamas de resíduos de construção e demolição e seu potencial utilização como fertilizante à base de fosfato. *Revista de Engenharia Química Ambiental*. n.8, 2020.
- Resolução CONAMA N° 307, de 05/07/2002. Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).
- SAIDELLES, A. P.; SENNA, A. J.; KIRCHNER, R.; BITENCOURT, G. Gestão de Resíduos Sólidos na Indústria de Beneficiamento de Arroz. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 5, n. 5, p. 904-916, 2012.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; OTERO, X. L. Química de solos alagados. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). Química e Mineralogia dos Solos-Parte II. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 486–525.

WANG, C; CHEN, X. Preparação e caracterização de material zeólito granular de resíduos de construção e demolição para remoção de chumbo. Dessalinização e Tratamento de Água 1– 6, 201, 2017.

YILMAZ, T; ERCIKDI, B. Efeito dos resíduos de construção e demolição no comportamento geoambiental de longo prazo do backfill de pasta cimentada. Jornal Internacional de Ciência e Tecnologia Ambiental, 2021.

YU, D.; e outros Caracterização do impacto ambiental de metais em resíduos de construção e demolição. Ciência Ambiental e Pesquisa de Poluição, 25:13823–13832, 2018.

# *Aeromonas* spp. NA ÁGUA E COMEDOUROS DE *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) EM UMA PISCICULTURA NO SERTÃO DA BAHIA

Data de aceite: 02/01/2024

### **Estephany Dayane Sousa Silva**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0009-0004-0874-5389>

### **Paloma Ketley Andrade Lins Campos**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0009-0009-6329-1726>

### **Thaila Pereira Andrade**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0009-0005-0423-8416>

### **Naiane Barros de Souza**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0009-0005-4192-9339>

### **Pedro Henrique Leal Dantas**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0009-0000-7679-7616>

### **Susana Menezes Luz de Souza**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0000-0003-3463-117X>

### **Maristela Casé Costa Cunha**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0000-0001-9935-7912>

### **Danilo Mamede da Silva Santos**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Paulo Afonso – Bahia  
<https://orcid.org/0000-0003-0445-6622>

**RESUMO:** Doenças causadas por bactérias do gênero *Aeromonas* são frequentemente encontradas em *Oreochromis niloticus* provenientes de cultivo, o que pode ocasionar surtos epidêmicos e alta mortalidade na atividade piscícola. Portanto, este trabalho objetivou investigar a presença de *Aeromonas* spp. na água e comedouros de uma piscicultura do tipo tanques-rede, localizada no sertão da Bahia, Brasil. As coletas foram realizadas durante os meses de janeiro a abril de 2023. As amostras de água foram coletadas com auxílio de frascos de borosilicato esterilizados e as amostras de comedouros foram realizadas na malha dos comedouros com 25 dias de imersão nos tanques-rede. Aliquotas de 100µL das amostras foram inoculadas em placas de Petri estéreis contendo os meios de cultura de GSP Ágar, MIAB e KAPER`S. As placas foram incubadas em estufa bacteriológicas a 35°C durante 72 horas, 35°C durante o período de 48 horas e 24°C durante 24 a 48 horas para os meios de GSP Ágar, MIAB e

KAPER`S, respectivamente. Foi detectada a presença da bactéria *Aeromonas* spp. na água e nos comedouros em todos os meses investigados. A água e comedouros investigados podem configurar-se como agentes de contaminação bacteriana por *Aeromonas* spp., podendo proporcionar riscos de um eventual surto de aeromoniose, quando relacionado com o manejo sanitário inadequado da piscicultura. A realização de trabalhos sobre esse microrganismo torna-se relevante devido ao pouco conhecimento sobre sua presença nos ecossistemas aquáticos na região da caatinga. Assim, baseado nos métodos profiláticos de manejo sanitário em pisciculturas faz-se necessário a higienização dos comedouros em um tempo inferior a 25 dias de cultivo ou quando estiverem com biofilme aparente, sendo uma forma preventiva a saúde animal e humana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tanques-rede; tilapicultura; patologia; sanidade.

### *Aeromonas* spp. IN THE WATER AND FEEDERS OF *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) IN A FISH FARM IN THE BACKLANDS OF BAHIA

**ABSTRACT:** Diseases caused by bacteria of the *Aeromonas* genus are frequently found in farmed *Oreochromis niloticus*, which can cause epidemic outbreaks and high mortality in fish farming. Therefore, the aim of this study was to investigate the presence of *Aeromonas* spp. in the water and feeder of a net-tank fish farm located in the backlands of Bahia, Brazil. Samples were taken from January to April 2023. The water samples were collected using sterilized borosilicate bottles and the feeder samples were taken from the mesh of the feeders 25 days after immersion in the net tanks. Aliquots of 100µL of the samples were inoculated into sterile Petri dishes containing GSP Agar, MIAB and KAPER`S culture media. The plates were incubated in a bacteriological incubator at 35°C for 72 hours, 35°C for 48 hours and 24°C for 24 to 48 hours for the GSP Agar, MIAB and KAPER`S media, respectively. The presence of the bacterium *Aeromonas* spp. was detected in the water and feeders in all the months investigated. The water and feeders investigated may be agents of bacterial contamination by *Aeromonas* spp. and may pose a risk of a possible outbreak of aeromoniasis, when related to inadequate sanitary management of the fish farm. Research into this microorganism is relevant due to the lack of knowledge about its presence in aquatic ecosystems in the caatinga region. Thus, based on the prophylactic methods of sanitary management in fish farms, it is necessary to sanitize the feeders in less than 25 days of cultivation or when they have apparent biofilm, as a preventive measure for animal and human health.

**KEYWORDS:** Net cage; tilapia culture; disease; sanity.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), tilápia do Nilo, é um dos setores da piscicultura de detém maior destaque na aquicultura mundial, onde o Brasil aparece como o quarto país de maior produção de tilápia (ROMANZINI e COSTA, 2023). No Brasil, a região do submédio do rio São Francisco, localizada no sertão do estado da Bahia, foi responsável pela maior produção de tilápia do Nilo durante o ano de 2018 (BARROSO, et al., 2018; PEDROSA-FILHO et al., 2020).

A região do submédio do rio São Francisco, destaca-se dos demais grandes polos

de produção de tilápia, pela peculiaridade de estar inserida no sertão da Bahia, que apresenta temperatura uniforme durante todo o ano, desenvolvendo especificamente o cultivo de *Oreochromis niloticus*, linhagem Chitralada (SOARES et al., 2007). A região está inserida no bioma Caatinga, de clima BSh árido quente, segundo a classificação de Kopper (PELL, et al., 2007). Segundo Souza et al. (2023) e Soares et al., (2007), as condições climatológicas, característicos do sertão bahiano, são favoráveis ao desenvolvimento zootécnico de tilápia do Nilo em cultivos de tanques-rede. Porém, a água das pisciculturas, da região do submédio do rio São Francisco, pode acarretar proliferação microbiana e possíveis patologias ao pescado (DANTAS et al., 2021b).

O cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), em tanques-rede, é uma atividade aquícola de elevada produção e ganhos zootécnicos. A tilapicultura em sistemas de cultivo do tipo tanques-rede surge como uma resposta para atender a demanda pelo aumento da produção piscícola, principalmente nas regiões do submédio e baixo São Francisco. Tanques-rede são estruturas flutuantes utilizadas para a criação de peixes, sendo uma alternativa para aproveitamento de corpos d'água inexplorados. Podem ser confeccionadas de diversos materiais e tamanhos de malhas, a fim de permitir a passagem de fluxo de água e dos dejetos dos peixes, o que facilita a remoção de dejetos do plantel e auxilia na qualidade da água (ROMANZINI e COSTA, 2023; SANDOVAL-JUNIOR et al., 2019; SOARES et al., 2007).

Os comedouros desempenham um papel fundamental na alimentação dos peixes. Constitui-se de estruturas acopladas aos tanques-rede, instaladas dentro e junto as laterais dos tanques-rede, localizadas até 40cm abaixo e 20cm acima do nível da água. O uso de comedouros, em sistemas de cultivo do tipo tanques-rede, é importante para evitar que a ração ofertada durante o manejo alimentar não saia dos tanques devido a correnteza local, prevenindo a perda de alimentos (TAVARES-DIAS et al. 2018).

Os comedouros, que compõem os tanques-rede, possuem uma abertura de malha reduzida, o que favorece a colmatação de biofilme microbiano em sua estrutura, tornando o ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias e fungos (DANTAS et al., 2021a; DANTAS et al., 2021b).

A água, quando contaminada, torna-se um dos principais meios de contaminação, *in situ*, de alimentos de origem pesqueira. A água da piscicultura de cultivo de *Oreochromis niloticus*, do reservatório Moxotó, Bahia, região submédio do rio São Francisco, pode gerar um comprometimento para a piscicultura, devido a proliferação microbiana principalmente no período chuvoso (DANTAS et al., 2021b).

*Aeromonas* spp. são patógenos oportunistas em anfíbios, répteis, aves, peixes, e seres humanos, sendo considerada um agente etiológico primário ou secundário no estabelecimento de infecções, conhecida como aeromoniose (KIM, et al., 2019; MOLERO et al. 2011; THOMAS et al., 2013).

Aeromoniose é a infecção mais comum no mundo a peixes cultivados (KIM, et al.,

2018). É causada por bactérias do gênero *Aeromonas* e encontradas em *Oreochromis niloticus* de cultivo, estando presentes na região do submédio do rio São Francisco, margem pernambucana, nos municípios de Jatobá e Petrolândia (KIM, et al., 2019). Porém, não há registros para os peixes de cultivo nas margens baianas.

O pescado com sinais clínicos de aeromoniose, são caracterizados por lesões de pele caracterizadas por áreas despigmentadas ou ulceradas, exoftalmia, ascite, petéquias viscerais, hepatomegalia, esplenomegalia, aumento de volume renal, rins friáveis e hemorragia na parede interna da cavidade abdominal (KIM, et al., 2019).

Apesar do sucesso da criação de tilápias estar relacionado as suas características fisiológicas, de alta rusticidade, incluindo resistência às doenças infecciosas comparada a outras espécies, uma gama de agentes etiológicos com potencial patogênico pode infectá-las, incluindo *Aeromonas hydrophila* ou *Aeromonas* spp. (KIM, et al., 2019; KIM, et al., 2018; SEBASTIÃO et al., 2015).

O gênero *Aeromonas* pode ser um agente de patologias ao cultivo de tilápia e pode representar perdas à produção do pescado de cultivo. Entretanto, ocorrência de estirpes desse grupo de bactéria tem sido pouco estudada em sistemas de pisciculturas, principalmente na região da caatinga. Bactérias do gênero *Aeromonas* podem representar um problema ao cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758), tilápia do Nilo, sendo necessário um maior conhecimento a respeito de sua presença e distribuição, pois, a constatação de sua frequência de ocorrência poderá fornecer subsídios para estudos epidemiológicos envolvendo o pescado. Assim, este trabalho objetivou investigar a presença de *Aeromonas* spp. na água e comedouro de uma piscicultura do tipo tanques-rede no reservatório Moxotó, localizado no sertão bahiano.

## METODOLOGIA

### Coleta e caracterização da área da piscicultura

As coletas foram realizadas nos meses de janeiro a abril de 2023 em uma piscicultura de cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758), tilápia do Nilo, localizada na região semiárida, no sub-médio do Rio São Francisco, no reservatório do Moxotó, no município de Glória-BA, entre a latitude: -09° 20' 17" S, longitude: -38° 15' 17" W e altitude de 243m (Figura 1). A região apresenta clima BSh, árido quente, segundo a classificação de Köppen (PELL, et al., 2007).

### Coleta de amostra de água e comedouro

Foram coletadas três amostras de água por coleta, em triplicata, a jusante, na piscicultura investigada. As amostras de água destinadas à análise qualitativa da composição da comunidade microbiana foram coletadas na superfície, em profundidade de

até 10cm, com auxílio de frascos de borosilicato de boca larga de 500mL de capacidade.

Foram coletadas dez amostras de comedouros com 25 dias de imersão nos tanques-rede por raspagem de um quadrante de 20 x 20cm do biofilme crescido na malha do comedouro com auxílio de uma escova de cerdas rígidas e acondicionadas em frascos de borosilicato, previamente esterilizados, com capacidade de 500mL. Após as coletas, as amostras foram conduzidas, em caixas isotérmicas resfriadas, ao Laboratório de Microbiologia e Planctologia (LAMIPLAN) da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), para posterior análise.

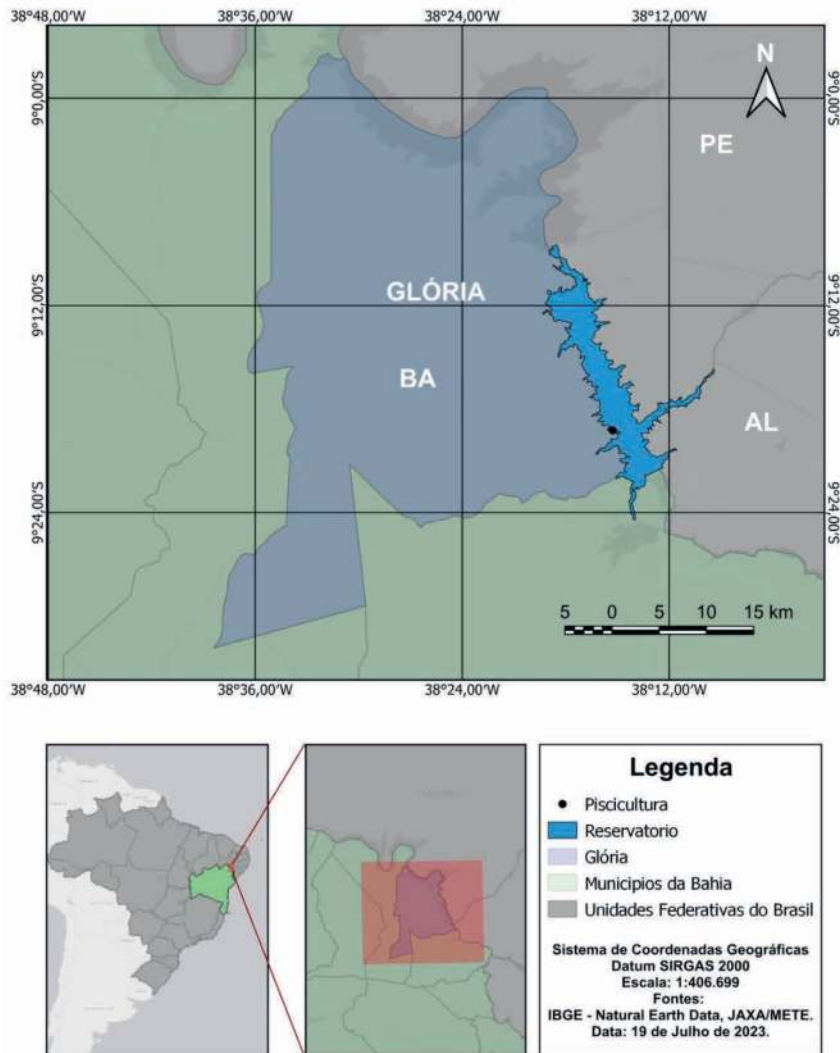


Figura 1: Mapa da localização geográfica do reservatório Moxotó, submédio do rio São Francisco, Brasil.

Fonte: SOUZA et al., 2023

## Isolamento e Caracterização de *Aeromonas* spp.

No laboratório, foi utilizado 100µL das amostras de água e biofilme do comedouro para ambos os nichos em cada placa, totalizando três repetições. As amostras foram semeadas com o auxílio da alça de Drigalski em placas de Petri estéreis contendo o meio de cultura GSP Ágar (Pseudomonas Aeromonas Selective Agar Base). Em seguida as placas foram incubadas em estufa bacteriológicas a 35°C durante 72 horas. Foram selecionadas colônias bacterianas com características do táxon investigado, colônias amarelas com halo amarelo ao redor da colônia. As colônias selecionadas foram inoculadas em placas de Petri contendo o meio MIAB (Meio de Isolamento Aeromonas Base), para caracterização de *Aeromonas hydrophila* e incubadas em estufas bacteriológicas a 35°C durante o período de 48 horas e meio KAPER`S Medium para confirmação do táxon *Aeromonas hydrophila*; os tubos contendo meio KAPER`S foram incubadas em estufas bacteriológicas a 24°C durante 24 a 48 horas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi detectada a presença de *Aeromonas* spp. para todas as amostras avaliadas na água e nos comedouros. O gênero *Aeromonas* é um táxon patogênico emergente em peixes, associado a mortalidade massiva de peixes de água doce cultivados, sendo relatada a mortalidade de tilápia do Nilo por infecções provocadas por *Aeromonas* spp. (ASSANE et al., (2021).

A piscicultura investigada neste estudo está inserida na região do submédio do rio São Francisco, sertão da Bahia, bioma Caatinga, de clima árido quente. Essa região é caracterizada pelos baixos índices pluviométricos e elevadas temperaturas do ar e da água. As coletas foram realizadas durante os meses de janeiro a abril, períodos mais quentes do ano para a região.

A temperatura do ar, durante o mês de janeiro, em uma piscicultura localizada na região do submédio do rio São Francisco, chegou ao marco de 43,8°C; enquanto a temperatura da água, para a mesma região, chegou a 31,0°C durante o mês de março (CARDOSO et al., 2017). Essas temperaturas são favoráveis ao desenvolvimento de *Aeromonas* spp. Desta forma, a temperatura do ar e da água podem estar exercendo influência sob o desenvolvimento do gênero *Aeromonas* nos ambientes da piscicultura investigada. Assim, o clima semiárido no Sertão Baiano está favorável à multiplicação do gênero *Aeromonas*, quando considerado as temperaturas da região que permanecem elevadas durante todo o ano.

Sousa e Silva-Sousa (2001) ao investigar a água do rio Congonhas, no sudeste do Brasil, verificaram que o gênero *Aeromonas* foi abundante quando a temperatura da água foi mais elevada. O referido relato corrobora com a hipótese de que ambiente com maior temperatura da água possam ser mais favoráveis ao desenvolvimento do gênero



*Aeromonas*.

Foi detectada a presença de *Aeromonas* spp. em todos os comedouros, de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758), tilápia do Nilo, em todos os meses investigados. Foi evidenciado que os comedouros, da tilapicultura investigada, com 25 dias de imersão nos tanques-rede, estavam colmatados com detritos e um biofilme, aparentemente formado por algas, fungos e bactérias, além de matéria orgânica amorfa que pode ter sido oriunda das fezes animais e/ou de agregados carregados pelo leito do rio São Francisco.

Para o presente trabalho, o gênero *Aeromonas* esteve presente em comedouros colmatados que apresentavam agregados de biofilme microbiano e matéria orgânica amorfa. Fato que corrobora com o descrito por Dantas et al. (2021a) que relata que o acúmulo de nutrientes em comedouros, pode contribuir para a formação de biofilme nos comedouros dos tanques-rede e facilitar a multiplicação de microrganismos potencialmente patogênicos no nicho investigado.

A detecção de *Aeromonas* spp. em todos os meses investigados pode inferir que a exposição dos comedouros, a 25 dias de imersão nos tanque-rede, propicia a proliferação de *Aeromonas* spp. haja vista a acumulação de matéria orgânica no local. Este cenário aumenta a susceptibilidade de patogenias ao pescado, sendo necessário o monitoramento do tempo em que estas estruturas estão submersas, evitando o acúmulo de biofilme aparente.

A presença de *Aeromonas* spp. em *Oreochromis niloticus*, tilápia do Nilo, pode acarretar problemas epidemiológicos ao cultivo da tilápia, uma vez que, o fator de virulência da aerolisina, enterotoxina citolítica, que conduz a morte celular por perda da permeabilidade seletiva, é encontrado em mais de 80% dos peixes doentes, em amostras de DNA plasmidial em diferentes espécies de *Aeromonas* (KIM, et al., 2018).

KIM, et al. (2019), ao investigarem amostras de água e peixes vivos e mortos, em uma piscicultura da margem pernambucana da região do submédio do rio São Francisco, relataram que os genes de virulência mais frequentes para infecções de *Aeromonas* na região, foram: enterotoxina citotóxica e aerolisina para amostras de água e pescado. Na água, houve presença de espécies de *Aeromonas* com predominância de genes para enterotoxina citotóxica, em 80% das amostras de água investigadas. Os autores relatam que tais resultados são preocupantes, pois, demonstra o elevado potencial de patogênico de espécies de *Aeromonas*, potencialmente causadoras de aeromoniose nos cultivos em tanques-rede nos municípios de Jatobá e Petrolândia, no sertão do estado de Pernambuco, Brasil.

Dantas et al., (2021b) comenta que a presença dos resíduos gerados, constituídos pela oferta de alimentos não ingeridos pelo pescado, podem ficar aderidos nas malhas dos comedouros de tilápia do Nilo, podem se tornar um meio favorável para o aparecimento de patógenos.

Souza et al., 2023 observaram que elevadas densidades de peixes em tanques-

rede podem resultar no acúmulo de nutrientes nas malhas dos comedouros, que pode potencializar a proliferação do biofilme microbiano, criando um ambiente propício para a ocorrência de patógenos. Logo, o constante fluxo de água se faz necessário, além da qualidade da água em que os peixes estão sendo cultivados, pois a confirmação de *Aeromonas* spp. neste estudo no período explorado, expõe a importância da verificação do estado da água, que quando contaminada, pode causar problemas aos peixes devidos o contato direto, além de se tornar um perigo de saúde pública.

A tilapicultura em tanques-rede é uma atividade financeiramente atrativa e de importância socioeconômica estabelecida. Porém, requer a adoção de práticas preventivas para evitar problemas ao cultivo. O estresse, as altas densidade de estocagem e a nutrição animal são elementos importantes a serem considerados para minimizar efeitos negativos ao sistema de cultivo. Portanto, danos a sanidade das tilápias cultivadas em tanques-rede podem ter causas múltiplas, sendo que o manipulador deve estar apto a identificar possíveis distúrbios e/ou interferências para evitar o sofrimento animal e mortalidade do plantel (ROMANZINI e COSTA, 2023).

A qualificação profissional é um fator importante para que seja possível evitar e/ou mitigar danos ao cultivo de *Oreochromis niloticus*, tilápia do Nilo, e promover garantias de bem-estar animal e à saúde do trabalhador. Assim, é percebido que a água e comedouros investigados podem acarretar surtos aeromoniose provocados por *Aeromonas* spp., caso o manejo sanitário da piscicultura seja inadequado. Desta forma, é necessário a higienização dos comedouros em tempos inferiores a 25 dias de imersão nos tanques-rede e a implementação adequada de um plano de monitoramento da balneabilidade dos recursos hídricos do reservatório Moxotó-BA.

É recomendado que os trabalhadores da piscicultura façam uso de equipamentos de proteção individual (EPI), para o manejo sanitário e manutenção dos comedouros e tanques-rede. A realização de trabalhos sobre *Aeromonas* spp. torna-se relevante devido ao pouco conhecimento sobre sua presença nos ecossistemas aquáticos da região da caatinga, além de que a sua detecção prévia na água e comedouros é uma informação útil e preditiva para dinâmica de patologias presentes em pisciculturas intensivas.

## CONCLUSÃO

A água e comedouros investigados podem configurar-se como agentes de contaminação bacteriana por *Aeromonas* spp., podendo proporcionar riscos de um eventual surto de aeromoniose, quando relacionado com o manejo sanitário inadequado da piscicultura.

Evidencia-se a atenção para a necessidade da higienização dos comedouros em tempos inferiores a 25 dias de imersão nos tanques-rede e a implementação adequada de um plano de monitoramento da balneabilidade dos recursos hídricos do reservatório

Moxotó-BA.

É indicado que os trabalhadores da piscicultura façam uso de equipamentos de proteção individual (EPI), para o manejo sanitário e manutenção dos comedouros e tanques-rede. Assim, a realização de trabalhos sobre esse microrganismo torna-se relevante devido ao pouco conhecimento sobre sua presença nos ecossistemas aquáticos da região da caatinga, além de que a sua detecção em água e comedouro é uma informação útil e preditiva para dinâmica de patologias presentes em pisciculturas intensivas.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade do Estado da Bahia pela concessão das bolsas de Iniciação Científica, PICIN/UNEB; aos gestores da piscicultura investigada pela oportunidade de realização do presente estudo; ao Núcleo de Pesquisas em Ecossistemas Aquáticos (NUPEA) pelo apoio e incentivo acadêmico.

## REFERÊNCIAS

- ASSANE, I., SOUSA, E.L.; VALLADÃO, G.M.R.; TAMASHIRO, G.D.; CRISCOULO-URBINATI, E.; HASHIMOTO, D. T.; PILARSKI, F. **Phenotypic and genotypic characterization of *Aeromonas jandaei* involved in mass mortalities of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) in Brazil.** Aquaculture, v.541, p.736848, 2021.
- BARROSO, R. M.; MUÑOZ, A. E. P.; TAHIM, E. F.; WEBBER, D. C.; ALBUQUERQUE FILHO, A. C.; PEDROZA FILHO, M. X.; TENÓRIO, R. A.; CARMO, F. J. DO; BARRETO, L. E. G. DE S.; MUEHLMANN, L. D.; SILVA, F. M.; HEIN, G. **Diagnóstico da cadeia de valor da tilapicultura no Brasil.** Embrapa, 2018.
- CARDOSO, A. S.; SILVA, G. M. N.; MARQUES, E. A. T.; ASSIS, J. M. O.; OLIVEIRA, C. R.; PINHEIRO, A. F.; SOBRAL, M. C. M.; CASÊ, M. C. C. **Ferramentas de avaliação de impactos da piscicultura na qualidade da água: estudo de caso em reservatório no submédio São Francisco.** In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis. Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.
- DANTAS, P. H. L.; SOUZA, N. B.; PASSOS, K. A.; OLIVEIRA, J. H.; CUNHA, M. C. C.; SANTOS, D. M. S. **Fungos filamentosos em comedouros, água e ração de uma piscicultura de cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), no reservatório Moxotó-BA, submédio do rio São Francisco.** In: VALENÇA, A. R.; SANTOS, P. R.; GUZELLA, R. Pesquisas e Aquicultura: Desenvolvimento Tecnológico Sustentável. 1ªEd. Editora UFSC, v. 1, p. 108-123, 2021a.
- DANTAS, P. H. L.; SOUZA, N. B.; VIEIRA, A. B. S.; OLIVEIRA, J. H.; PASSOS, K. A.; SANTOS, D. M. S. **Deteção de *Streptococcus* spp. em comedouros de cultivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) no reservatório Moxotó-BA, submédio do rio São Francisco.** In: CORDEIRA, C. A. M.; SAMPAIO, D. S.; HOLANDA, F. C. A. F. Engenharia de Pesca: aspectos teóricos e práticos., v. 2., n.5, p. 76 -84, 2021b.

KIM, F. J. P.; SILVA, A. E. M.; SILVA, R. V. S.; KIM, P. C. P.; ACOSTA, A. C.; SILVA, S. M. B. C.; SENA, M. J.; MOTA, R. A. **Elevada frequência de *Aeromonas* spp. e genes de virulência em cultivos de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em tanques-rede, na região semiárida de Pernambuco, Brasil.** Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. V. 71, n. 5, p.1609-1615, 2019.

KIM, F. J. P.; SILVA, A. E. M.; SILVA, R. V. S.; KIM, P. C. P.; ACOSTA, A. C.; SILVA, S. M. B. C.; SENA, M. J.; SENA, M. J.; MOTA, R. A. **Deteção de *Aeromonas* spp. e do gene de virulência aerolisina em tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com a técnica de mPCR.** Brazilian Journal of Veterinary Research. V. 38, n. 9, p. 1731-1735, 2018.

MOLERO, R.; WILHELMS, M.; INFANZON, B.; TOMAS, J.M.; MERINO, S. ***Aeromonas hydrophila* motY is essential for polar flagellum function, requires coordinate expression of motX and Pom proteins.** Microbiology 157, 2772–2784, 2011.

PEDROSA-FILHO, M. X.; RIBEIRO, V. S.; ROCHA, H. S.; UMMUS, M. E.; VALE, T. M. **Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil.** Palmas, TO: IN: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2020.

PELL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. **Updated world map of the Koppen Geiger climate classification.** Hydrology and Earth System Sciences. v. 11, p. 1633- 1644, 2007.

ROMANZINI, G. B.; COSTA, C. P. **Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em tanques-rede: uma revisão de literatura.** Revista JRG de Estudos Acadêmicos. V. 4, n. 13, p. 783-797, 2023.

SANDOVAL-JUNIOR, P. S.; TROMBETA, T. D.; MATTOS, B. O.; SALLUN, W. B.; SOUZA, M. R. G. **Manual de Criação de Peixes em Tanque-Rede.** 2. ed. Brasília: CODEVASF, 2019.

SEBASTIÃO, F.A.; FURLAN, L.R.; HASHIMOTO, D.T. **Identification of bacterial fish pathogens in Brazil by direct colony PCR and 16S rRNA gene sequencing.** Adv. Microbiol., v.5, p.409-424, 2015.

SOARES, M. C. F.; LOPES, J. P.; BELLINI, R.; MENEZES, D. Q. **A piscicultura no rio São Francisco: É possível conciliar o uso múltiplo dos reservatórios?** Revista Brasileira de Engenharia de Pesca. V. 2, n. 2, p.69-83, 2007.

SOUZA, N. B.; DANTAS, P. H. L.; SILVA, E. D. S.; CAMPOS, P. K. A. L.; CUNHA, M. C. C.; SANTOS, D. M. S. **Quantificação de fungos filamentosos isolados de comedouros de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) no sertão da Bahia.** V.5, n18, p. 108-119, 2023.

SOUZA, J. A.; SILVA-SOUZA, A. T. **Bacterial community associated with fish and water from Congonhas river, Sertaneja, Paraná, Brazil.** Brazilian Archives of Biology and Technology. V.44, n. 4, p. 373-381, 2001.

TAVARES-DIAS, M.; SILVA, C. A.; CORRÊA, R. O.; MARTINS-JUNIOR, H.; HIOSHIOKA, E. T. O.; ARAÚJO, J. C.; RODRIGUES, L. A.; FOGAÇA, F. H. S. **Boas práticas para a produção de tambaqui em tanques-rede: da implantação à despesca.** Comunicado Técnico 152. 1ª Ed. Macapá-AP, EMBRAPA, 2018.

THOMAS, J.; JEROBIN, J.; SAMUEL JEBA SEELAN, T.; THANIGAIVEL, S.; VIJAYAKUMAR, S. **Studies on pathogenecity of *Aeromonas salmonicida* in catfish *Clarias batrachus* and control measures by neem nanoemulsion.** Aquaculture, v. 396–399, p.71–75, 2013.

# ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA ELECTROIMANES INDUSTRIALES

---

*Data de submissão: 02/01/2024*

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Nestor Antonio Flores Martínez**

Universidad Metropolitana de Monterrey  
Guadalupe, Nuevo León, México

**Valentín Guzmán Ramos**

Universidad Tecnológica General Mariano  
Escobedo  
Escobedo, Nuevo León, México

**Ricardo Chapa García**

Universidad Tecnológica General Mariano  
Escobedo  
Escobedo, Nuevo León, México

**RESUMEN:** Se presentan de forma descriptiva, las irregularidades en modelos matemáticos y de ingeniería, orientados a sistemas industriales. Desarrollando un estudio matemático de cuales son los alcances y complicaciones que estos pueden tener. Describiendo los requerimientos de un sistema predictivo en la industria, como las complicaciones generadas por desconfianza de los directivos de estas. Una comparativa entre diferentes modelos con respecto a los datos registrados, además de complicaciones entre las pruebas experimentales y sus predicciones. Se termina con un análisis

sobre las deficiencias de la industria con respecto al rechazo de la ciencia y modelos parametrizados.

**PALABRAS CLAVE:** campo magnético; dinámica de fluidos; industria; ingeniería inversa; conductores eléctricos; leyes de Newton.

**ABSTRACT:** A brief description about how math and engineering models have irregularities due to industry applications and conditions for production line. Development of a mathematical study for the determination of the reaches and its possible complications. How predictive modeling for industry is possible under the permission of the companies' directors. A data comparison according to recorded data from real equipment with different math formulas and equations. Possible mistakes from experimental data to math predictions. At the end, there is a short analysis about how some factories cannot improve their productions with the rejection of science and engineering applications.

**KEYWORDS:** magnetic field; fluid dynamics; industry; reverse engineering; wires; Newton's laws.

## 1 | INTRODUCCIÓN

En la ciencia se establece la teoría que describe los fenómenos de la naturaleza, desarrollando modelos matemáticos, descubriendo sus límites y alcances. La ingeniería se especializa en generar aplicaciones de estos. Las industrias hacen realidad esos diseños, modelos, teorías y cálculos especializados. Ponen a prueba el entendimiento de científicos e ingenieros, desarrollando tecnología y equipamiento que en ocasiones son consideradas imposibles, complicadas o de altos costos.

Es una trayectoria de desarrollo que implica una simplificación con complejidad por debajo de los modelos de juguete. Conectar la teoría con los diseños y la aplicación se complica dada su necesidad de una producción en poco tiempo con un presupuesto reducido para maximizar las ganancias.

Los especialistas deben interactuar entre ellos, para tener conocimiento de la aplicación en industria, fabricación, desarrollando modelos que sean simples de entender para gente sin capacitación, bajo condición de un determinado nivel de precisión y exactitud para los experimentos en campo. Este trabajo pretende dar un paso al frente en dicha colaboración, para establecer modelos matemáticos que tengan aplicación directa, sin modificaciones o aproximaciones nuevas, que predigan el sistema industrial o tecnológico en que será usado.

En específico, el análisis de ciertos elementos implementados en el diseño, construcción y prueba de electroimanes de grado industrial, sobre características que determinan su resistencia, capacidad de carga y algunos elementos de ingeniería que son usados como parámetros de su adecuado funcionamiento [Moreau, 1970].

## 2 | CAMPO MAGNÉTICO COMO UN NUEVO MODELO

Se suelen citar ecuaciones generales de teoría electromagnética para posterior, resolver los casos lineales o reducidos: ecuaciones diferenciales y ecuaciones diferenciales parciales. La resolución de los sistemas originales, requieren de la aplicación de temas primordiales de la física y la matemática como procesos estocásticos, transformadas multivariadas y tensores de rango tres. Se puede construir un punto medio, desarrollando ecuaciones que no tengan sistemas simplificados en sus ecuaciones, con parámetros como funciones de otra variable o relacionadas con ecuaciones en un determinado tiempo  $i$ -ésimo.

La coincidencia de los elementos implementados en diferentes teorías de ondas para fenómenos físicos [Andersen, Santos, Fuerts, 2015; Landau, Lifshitz, 1984; Oliveros Mesa, Solarte Blandón, 2012] (termodinámica, electromagnetismo, dinámica de fluidos, información, acústica) implican la posibilidad de ecuaciones generales para describirles. Esto se ha probado con ciertas libertades a través del tensor de deformaciones, establecido (posiblemente) por Robert Hooke.

El campo magnético se comporta como un fluido [Flores Martínez, Guzmán Ramos, Guzmán González, 2022]; tiene resistencia y dirección, además que puede presentar efectos como turbulencia, divergencia y rotacional. Los elementos del campo en un sistema libre implican una extensión hacia el infinito en espacio, pero, un tiempo finito en existencia debido al aumento de la resistencia en un material por el calor del uso constante. Tiene un máximo en la polarización de los dipolos moleculares, que no se conoce a priori. Además de una deformación en el espacio, para diferentes zonas según interactúa con otros campos o con la materia.

Considerando el uso de los electroimanes se comienza analizando la posibilidad de determinar la capacidad de carga, a partir de la interacción del campo con la materia, a partir de su energía potencial (energía magnética debido a los campos en su morfología). Los correspondientes de fuerza, considerando un sistema real de tres dimensiones espaciales, debido al potencial de un imán (o electroimán) Se puede generalizar como una forma simple de la ecuación de deformaciones:

$$\sigma_i = -\frac{\partial V}{\partial x_i} \quad (1)$$

En cuanto a electroimanes, suele referirse a su capacidad de levantar objetos como fuerza de levante (o capacidad de arrastre), un concepto lineal sobre su funcionamiento que es erróneo en su interpretación. Se refiere a una atracción magnética entre un campo magnético y un material ferromagnético, o entre dos materiales ferromagnéticos. Cuando el electroimán, en específico el núcleo magnetizado, interactúa con otros materiales el campo magnético inducido en este interactúa con las partículas del material (o materiales) en contacto, generando también una ligera magnetización en este último, generando atracción mutua. Gracias a una base móvil se desplaza, generando el “levantamiento” como si se produjera una fuerza similar a una grúa.

Se puede conocer la fuerza que el núcleo de una bobina genera a través del campo magnético al que se somete [Baran, 1970; Reitz, Milford, Christy, 2008]. Esta depende del campo inducido ( $H$ ) en el núcleo por la interacción con el campo envolvente de la bobina. Las ecuaciones empleadas en los solenoides con su caso simple determinan que el campo y por ende la fuerza, dependen del radio de apertura del cuerpo, la permeabilidad del cuerpo y, una relación directa con la corriente y número de vueltas de conductor (solera, alambre o una mezcla de ambos). Considerando la magnetización mutua, se propone una expresión de fuerza que dependa de la proximidad de los cuerpos, en conjunto con el campo del solenoide y el campo inducido en el cuerpo por proximidad. Esto último establece que la limitante de medir la fuerza de un campo se debe exclusivamente a la interacción, y no al campo per se:

$$F \equiv \frac{B_b B_m A}{2\pi\mu_2} = \frac{\mu_0\mu_i N^2 I^2 A}{2\pi r_1 r_2 \mu_1} \quad (2)$$

Las variables y parámetros mostrados en la ecuación (2) corresponden a las propiedades eléctricas y magnéticas del sistema, con factor geométrico sobre la disposición del campo en determinado volumen correspondiente a la dinámica de inducción en el núcleo:

- $B_b$ , el campo magnético inducido en el material por la bobina
- $B_m$ , el campo magnético generado en el núcleo
- $A$ , la zona de contacto, equivalente a la sección transversal del núcleo
- $\mu_1$ , la permeabilidad en el momento del uso de la bobina ya sea al comienzo con poco campo o al final con un gran campo
- $\mu_2$ , la permeabilidad máxima que puede tener el material del núcleo
- $\mu_i$ , la permeabilidad del campo sea a bajo campo o alto campo
- $r_1$ , radio medio de la bobina
- $r_2$ , radio de la zona de contacto

Por cada conjunto de variables, existe una definición diferente para un factor de proporcionalidad sobre los cambios en la energía cinética y el campo inducido (campo del electroimán en el núcleo). Hay covariantes y contravariantes, dada la dinámica de tiempo y espacio que no ocurren de forma simultánea para los efectos del fenómeno físico. Considerando que hay una variabilidad en el tiempo y espacio, habrá un valor de campo por zonas y tiempos, lo cual puede darnos un campo efectivo propio del sistema:

$$B = \sum_{i=1}^3 B_i = \sum_{i,j}^3 \left\{ \alpha_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} V_i - \alpha_{ij} \frac{\partial}{\partial x^i} V^j \right\} \quad (3)$$

Considerando que unos elementos son covariantes y otros contravariantes, los índices se invierten al evaluar los arcos, el elemento  $y^{jik}$  implica rotación de ejes:

$$B_{ij} = \gamma^{jik} \alpha_{ij} \partial_i V_j \quad (4)$$

El campo efectivo será siempre una propiedad causada por la energía potencial. Este y la fuerza son elementos codependientes, lo cual puede observarse en las aplicaciones industriales; el funcionamiento del electroimán en un determinado tiempo depende del tipo de uso en los momentos previos, la distribución del campo en una determinada zona del volumen (interior del núcleo y/o exterior) depende de la fuente como la interferencia con el campo en zonas anexas.

Las ecuaciones determinan codependencias de varios parámetros y variables en la dinámica del campo. Los datos registrados en industria muestran la interacción con



cualquier material, su distribución implica una similitud con la densidad de los fluidos, a lo cual se establece que debe haber una densidad propia del campo magnético y su distribución espacial. Se refleja en una expresión de distribución radial del campo a partir del origen, definido en un parámetro que, para un caso simple es el tiempo lineal periódico:

$$r = \sqrt{(\alpha + a \cos t)^2 + (\beta + b \sin t)^2 + (a \sec t)^2} \quad (5)$$

Dicha expresión depende de ecuaciones paramétricas y la velocidad de onda, la cual se determina a través de la velocidad de grupo de los pulsos magnéticos, que en última instancia está relacionado de forma directa pero implícita con la densidad del medio o de las ondas, como la densidad de un fluido.

Se tienen dos efectos elásticos en los electroimanes, uno generado por el campo dada la permeabilidad del medio, y otro generado por el comportamiento de los materiales de acuerdo con sus propiedades mecano-elásticas. Relacionadas con efectos térmicos de deformación lo cual se debe a un efecto de dilatación en los materiales de la bobina, al ser un sistema encapsulado de varios elementos, hay compresión en diferentes direcciones.

Las fuerzas no están en equilibrio: La carcasa mantiene la forma conforme se desgaste y se lleva la estructura al punto máximo de deformación. Esta reduce la eficiencia en cuanto a la capacidad de carga (kilos que levanta).

Todo cuerpo que se estremece en un medio elástico extenderá el movimiento de las partículas en todas direcciones; pero, en el medio provocará un movimiento tipo circular. La propagación de onda térmica como onda electromagnética se da hacia el exterior en límites geométricos del cuerpo (carcasa), tiene un rotacional con magnitud proporcional a la cantidad de partículas (intensidad de campo) cerca del centro.

La fricción que surge de la falta de lubricidad de las partes del fluido (la viscosidad del medio o en este caso, la interacción por ionización del campo), en igualdad de condiciones, es proporcional a la velocidad con que las partículas se acercan [Butvok, 1973; Gratton, 2002; Aris, 1989]:

$$\mu \propto \sum_{i=1}^n \vec{V}_{a \rightarrow b, i} \quad (6)$$

Los cuerpos son devueltos al mundo (medio) en un vórtice, sus direcciones y posiciones cambian por ser aplastados (impactados) con este, son movidos por la misma dinámica que otras partes (o partículas) en cuanto a velocidad y determinación de una trayectoria curvilínea. Las irregularidades de un medio o material permiten el desplazamiento de las partículas u otro medio que no sea propio para una mezcla química (movimiento de Brown). El ruido de Brown es el responsable del movimiento en un sistema estático, como en un dinámico.

El sistema de la bobina implica una interacción partícula-campo, con lo cual hay

una determinada fricción al movimiento del campo dentro de la carcasa. Si la fricción es proporcional a la velocidad, también al cambio de momento:

$$\mu \propto u_{i,j} \rightarrow \partial_i p_j \quad (7)$$

Con un cambio en la viscosidad, cambia el momento en intensidad y dirección. El formalismo matemático, establece que la viscosidad representa la distribución no homogénea del campo, creando zonas con mayor concentración de campo. Conociendo cuales son las características del material del núcleo o carcasa se determina la distribución del campo. Con ello, se establecen las irregularidades que limitan la expresión de la fuerza.

Se ha usado en ingeniería una ecuación que establece la medición del campo como un valor en weber y variaciones de esto, tal que las unidades no son Tesla ni Gauss. Esta unidad se mide como Newton por cada metro de área. En fábricas donde no se tiene un contexto o información del origen de ecuaciones y formulas, se le llama cantidad de carga. Para empresas que usan/fabrican electroimanes, existe una reducción al absurdo de la expresión de fuerza, aunque con mayor grado de detalle, dependiente del campo estimado, propiedades mecánicas y los factores magnéticos de los materiales:

$$|F| = \frac{k(B_0(r, z))^2}{\mu_0 \pi r^2} \quad (8)$$

### 3 I EFICIENCIA Y TIEMPO DE TRABAJO

En la sección anterior, se llegó a una expresión que mide la capacidad de carga (fuerza) en proporciones del campo inducido y proporciones geométricas. Dentro de la industria, se determina al campo como un factor de la cantidad de vueltas de conductor (alambre, solera o de otro tipo) por la cantidad de corriente de alimentación (aunque difiera del valor efectivo). Esto último se emplea para otra definición que, en una mala traducción del inglés al español, ha surgido como Ciclo de Trabajo, al menos en Latinoamérica así se le conoce.

De algunos documentos en internet se parte de modelos con simplificaciones para el uso en ingeniería, se tiene que se mide la eficiencia del transporte de corriente eléctrica en los electroimanes a través de un análisis de la corriente esperada en el cable contra la corriente efectiva, lo cual suelen llamar “Ciclo de Trabajo”, representado en forma simple como el corriente de milésimas circulares, con una expresión aproximada:

$$\frac{CM}{10I} \% = CT \quad (9)$$

En ingeniería y ciencias, el ciclo de trabajo está definido como la proporción del tiempo de apagado y encendido de un determinado equipo, relacionado con la cantidad de tiempo que se debe tener en funcionamiento. Se establece por un cálculo similar a

la eficiencia, siendo que dicha propiedad decae en el tiempo debido a la corriente, calor, cantidad de ciclos, vibración, humedad, entre otras cosas. Aunque como concepto, el ciclo de trabajo nos da información de cuánto tiempo puede estar en funcionamiento continuo antes de fallar o que su eficiencia decaiga por debajo del 90%.

Para el diseño y funcionamiento de los electroimanes, la corriente que se usa en el equipo es el indicativo. Midiendo la corriente efectiva durante el encendido, la caída y el valor mínimo que alcanza. Se espera que el valor máximo corresponda a la capacidad indicada en el conductor. Desde la perspectiva teórica, esto corresponde al intercambio de la energía potencial esperada en la capacidad de cada calibre de conductor contra la energía eléctrica generada por la diferencia de potencial:

$$\frac{\text{Energía potencial}}{\text{Energía eléctrica}} = \frac{U}{E} = \frac{2QV}{LI^2} \quad (10)$$

De la definición electrónica de inductancia,  $L = \frac{V}{dI/dt}$ , se tiene una dependencia inversa con la corriente y la diferencia de potencial, que establece una medición de la energía eléctrica. El cociente de la energía corresponde a un valor estático, cuando el conductor no está en uso:

$$\frac{U}{E} = \frac{2QV}{\frac{V}{dI/dt}} = \frac{2Q}{I^2} \frac{dI}{dt} \quad (11)$$

Cuando el conductor está en uso (el electroimán está en funcionamiento), se tiene una variación de la energía potencial en el tiempo, con un comportamiento cíclico. Una derivada del tiempo o cambio entre dos puntos en el tiempo, para determinar la capacidad de cambio de la energía, en parámetros que miden en industria como corriente, resistencia como algunos otros elementos que son propios de la teoría e ingeniería:

$$\frac{\Delta U}{E} = \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \frac{\pi r^2}{I} + \frac{1}{\pi \epsilon_0} \frac{\partial R}{\partial t} \frac{\partial I}{\partial t} \quad (12)$$

Uno de los elementos corresponde a valores esperados obtenidos para el ciclo de trabajo como se define en industria. Considerando la segunda derivada del campo eléctrico como valor constante, estimado como factor de un décimo del valor original, probando la expresión (9), aunque sin hacer la sobre simplificación. Además, el elemento de la derecha corresponde a las variaciones o pérdidas de la eficiencia del sistema en términos de los cambios de corriente y resistencia, que vienen del efecto de Joule y las corrientes de Eddy.

La expresión de la izquierda para medir las propiedades de los conductores, dejando de lado la expresión del cambio de campo eléctrico, los elementos que quedan corresponden a las milésimas circulares ( $\pi r^2$ ) y la cantidad de corriente que se va a suministrar. Se espera que la expresión de la segunda derivada corresponda a 0.1 para que sea idéntico a la expresión empleada en las fábricas:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = \frac{1}{10} \quad (13)$$

Resolviendo por transformada de Laplace, considerando que en el tiempo cero no hay corriente, ni diferencia de potencial, tampoco campo, además de que el cambio del campo si debe tener un valor constante. Lo último se justifica bajo la posibilidad la corriente es constante durante un determinado tiempo en que la eficiencia no baje del 90%. Para una aproximación, una expresión trigonométrica corresponde al campo eléctrico, para lo cual el factor de decaimiento del campo se da como una décima parte del valor efectivo con respecto al teórico:

$$E(t) = \frac{\sqrt{\cos(2\pi t)}}{10} \quad (14)$$

Queda demostrada una nueva expresión para el cociente del campo eléctrico con respecto a la energía potencial esperada. La derivada implica un cociente de funciones trigonométricas, genera una función con valor cero en el tiempo inicial. La segunda derivada también implica una combinación lineal de funciones trigonométricas.

## 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nunca habrá una coincidencia completa entre los valores reales registrados en la industria, con respecto a la teoría. Tampoco habrá coincidencia entre industria y otra. Al no haber métodos estandarizados a nivel mundial que sean un requisito indispensable, queda abierto a las ecuaciones que se implementen. Un ejemplo de ello, son los datos obtenidos de la compañía Medrano Magnetics S.A. de C.V., donde sus mediciones de intensidad de campo se realizan con pruebas de capacidad de carga para dos escenarios: 1) distancia mínima que se requiere para generar un levantamiento y, 2) la cantidad máxima de carga que se puede levantar.

Otra cantidad que usan como referencia es algo similar a la cantidad de kilos por pulgada cuadrada, en la ignorancia de que se refiere al weber, otra unidad de intensidad de campo magnético. Se debe conocer las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales, incluyendo permeabilidad magnética. Esto en el caso de las aleaciones de acero, cambia de una a otra, siendo que nunca se usa el mismo material ni menos del mismo vendedor. Esta propiedad no se puede usar como un parámetro, quizá como un medio o un promedio de los valores obtenidos de tablas y registros teóricos. Por ejemplo, entre datos obtenidos de pruebas experimentales tenemos la siguiente información:

- Permeabilidad magnética del vacío,  $\mu_0$ :  $1.2566 \times 10^{-6} \text{ N/A}^2$
- Permeabilidad magnética del hierro en aleación,  $\mu$ :  $180 \text{ N/A}^2$  (campo de baja magnitud),  $2000 \text{ N/A}^2$  (campo de alta magnitud, límite)

- Permeabilidad magnética del hierro al 4% de silicio: 500 N/A<sup>2</sup> (campo de baja magnitud), 7000 N/A<sup>2</sup> (campo de alta magnitud, límite)

Se hicieron pruebas cualitativas con el control de algunos cuantos parámetros, para establecer las capacidades de carga, cuidando la configuración del equipo:

- Radio total,  $R_t$ : 0.95885 m
- Radio interno (de la bobina, radio de la zona de contacto del núcleo),  $R_i$ : 0.295275 m
- Radio medio,  $R_m$ : 0.64135 m
- Longitud de bobina,  $l$ : 0.013779527 m
- Conductividad del aluminio,  $\sigma_0$ :  $3.78 \times 10^{-7}$  S/m
- Área de sección transversal (del núcleo),  $A$ : 0.27391 m<sup>2</sup>
- Corriente: 120 A (CD), 0.8 A (CA)
- Vueltas de embobinado: 659, 1316, 1600

La cantidad de vueltas de conductor es el elemento más importante en el diseño, ingeniería y producción de electroimanes, esto debido al costo de producción, como también la intensidad de campo magnético y de carga en kilogramos. Estos dos últimos, son válidos para un sistema con alta simetría geométrica, generando un campo uniforme en todas las direcciones. Tomando una tabla de valores del trabajo de Flores y compañeros, se tienen estimaciones de las capacidades de los electroimanes. El diseño esperado, usando la expresión considerada como óptima en la industria:

$$B = NI = F \quad (15)$$

La tabla emplea la expresión de campo magnético y de fuerza de levante, de los cálculos previos. Los valores esperados se muestran en decenas de miles de Tesla. Aunque la fuerza corresponde a un valor estimado aceptable, ningún de estos valores son reales. Los electroimanes usados en la industria pueden cargar hasta mil kilos, con una proporción de seguridad de 3 mil.

Si tomamos una expresión de campo directa, como se usa en industria, vemos que un campo de 8000 gauss (0.8 Tesla) como máximo, que se suele reportar en los experimentos, debe corresponder a 66 vueltas de conductor para los 120 amperes de alimentación. No hay coincidencia entre los datos reportados en las fichas técnicas, los datos registrados en pruebas de campo y los estimados por el modelo matemático. En tablas, el electroimán de menor capacidad tiene mas de 600 vueltas de conductor.

| Densidad de flujo magnético (N/A²) |             |                         |                         |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Corriente directa (120 A)          |             |                         |                         |
| Numero de vueltas del embobinado   | Material    | Flujo mínimo            | Flujo máximo            |
| 658                                | 98.5Fe-1.5C | 1.318 x 10 <sup>7</sup> | 1.465 x 10 <sup>8</sup> |
|                                    | 96Fe-4Si    | 3.662 x 10 <sup>7</sup> | 5.127 x 10 <sup>8</sup> |
|                                    | 90Fe-10C    | 2.637 x 10 <sup>8</sup> |                         |
| 1316                               | 98.5Fe-1.5C | 2.637 x 10 <sup>7</sup> | 2.93 x 10 <sup>8</sup>  |
|                                    | 96Fe-4Si    | 7.325 x 10 <sup>7</sup> | 1.025 x 10 <sup>9</sup> |
|                                    | 90Fe-10C    | 5.274 x 10 <sup>8</sup> |                         |
| 1600                               | 98.5Fe-1.5C | 3.206 x 10 <sup>7</sup> | 3.562 x 10 <sup>8</sup> |
|                                    | 96Fe-4Si    | 8.905 x 10 <sup>7</sup> | 1.247 x 10 <sup>9</sup> |
|                                    | 90Fe-10C    | 6.412 x 10 <sup>8</sup> |                         |
| Numero de vueltas del embobinado   | Material    | Fuerza mínima (Newton)  | Fuerza máxima (Newton)  |
| 658                                | 98.5Fe-1.5C | 1803.506                | 5009.739                |
|                                    | 96Fe-4Si    | 1803.506                | 25249.083               |
|                                    | 90Fe-10C    | 24047.559               |                         |
| 1316                               | 98.5Fe-1.5C | 7214.024                | 20038.955               |
|                                    | 96Fe-4Si    | 7214.024                | 100996.333              |
|                                    | 90Fe-10C    | 96190.235               |                         |
| 1600                               | 98.5Fe-1.5C | 10663.647               | 118484.969              |
|                                    | 96Fe-4Si    | 10663.647               | 474697.392              |
|                                    | 90Fe-10C    | 4.275 x 10 <sup>8</sup> |                         |

Tabla 1. Datos generados por ecuaciones obtenidas de modelos simplificados.

De la ecuación (2), usando las condiciones de valores registrados, 7700 kilos aproximadamente, usando el factor 3:1 de seguridad, deja con 2567 kilos. Con esta ecuación obtenida de una simplificación, se acerca al valor real obtenido en las pruebas experimentales en planta. Aunque, siendo un lugar con interferencia magnética, no se puede obtener un valor nominal próximo a equipos empleados en campo.

## 5 | EFICIENCIA DEL SISTEMA Y LÍMITES

De tres mil kilos estimados en experimentos hasta los 3383 del cálculo, se tiene una variación de 12.77%. Demasiado en cuestiones de errores porcentuales. Sin embargo, el

modelo empleado en ingeniería genera una fuerza de 7346 kilos, la aproximación sigue siendo un estimado. El modelo teórico se puede mejorar para determinar un valor próximo a lo real, mientras que las expresiones de ingeniería solo se alejan del resultado en más de un cien por ciento.

Como se mencionó antes, ninguna de las aproximaciones será suficientemente realista hasta que se tengan datos controlados o materia prima controlada. Otra opción radica en tener un programa que evalúe los datos posibles con diferentes configuraciones de materia prima con cantidad de conductores, corrientes. Este sistema implica un tiempo de trabajo por cada empleado, esto implica un gasto de recursos o pagos mayores y no es admisible para algunas empresas.

Mientras no se tenga conocimiento preciso de los materiales que se compran y emplean [Jontz, M. L., 1948], no habrá manera de controlar las capacidades de funcionamiento de electroimanes. Los modelos teóricos son importantes en cualquier producción industrial, y cuando esta no puede parar, se trabajan a la par de la producción, con toma de datos en tiempo real.

## 6 | CONCLUSIONES

Los modelos teóricos son útiles para la industria e ingeniería. Las estrategias de algunas empresas por mantener sus procesos en secreto como una manera de evitar la competencia y el plagio, no tiene sentido. Siendo que los negocios e industrias grandes tienen un departamento de ingeniería inversa, dedicado a entender el funcionamiento del equipo en el mercado. Entonces, la mejor manera de tener control de los procesos de mejora en su línea de producción radica en una comunicación efectiva con especialistas para entender como los productos con prueba y error, han funcionado.

Las ecuaciones y fórmulas mostradas en el presente trabajo demuestran el valor de aproximaciones teóricas en el entendimiento de la producción de empresas. Aunque no se consiguió un modelo que fuera fiel a los valores reales, se probó una eficiencia mayor que los modelos usados en ingeniería limitados a solo dos factores.

Cuando se determinan los estudios científicos para comprender las empresas con su producción, se requiere un equilibrio entre la parte científica, técnica, de ingeniería y los datos experimentales para tener un modelado que sea robusto para con los requerimientos de cada empresa. Se pueden establecer estos para ramas de producción.

La transparencia puede establecer nuevos productos y líneas de producción con mayor eficiencia. Los electroimanes son una combinación de disciplinas como electrónica, electricidad, magnetismo, mecánica y estática. Empleando modelos matemáticos establecidos detiene el uso de tablas que fueron elaboradas hace décadas. Las ecuaciones y el sistema predictivo se pueden actualizar para necesidades futuras de las compañías. Puede haber una teoría matemática general que vaya adaptándose a cada aplicación,

cambiando los parámetros. Conforme mayor tiempo y ecuaciones se usen en los desarrollos, mayor la precisión y exactitud con sistemas reales, desarrollando una industria inteligente que se acople a las necesidades del mercado y de sus empleados, minimizando pérdidas, costos y desecho de materiales.

## REFERENCIAS

MOREAU, L. The place of magnets in modern industry. **IEEE Transactions on Magnetism**, año 1970, v. 6, n. 2, p. 255-260. <https://doi.org/10.1109/tmag.1970.1066787>

ANDERSEN, S. B., Santos, I. F., Fuerts, A. Multi-physics modeling of large ring motor for mining industry – Combining electromagnetism, fluid mechanics, mass and heat transfer in engineering design. **Applied Mathematical Modeling**, año 2015, n. 39, p. 1941-1965. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.10.017>

LANDAU, L. D., Lifshitz, E. M. **Electrodynamics of Continuous Media. Volume 8: Course of Theoretical Physics**. Pergamon Press: 2<sup>nd</sup> edition, 1984.

OLIVEROS MESA, N. F., Solarte Blandón, P. A., **¿Cómo hacer un electroimán?** Universidad Nacional de Colombia, 2012.

FLORES MARTÍNEZ, N. A., Guzmán Ramos, V., Guzmán González, J. E. **Fundamentos físico-matemáticos para la construcción de electroimanes industriales: orientado a datos experimentales de un modelo funcional**. Amazon Kindle Publishing, 2022, p. 23-31, 70-79

BARAN, W. K. A. Influence of different magnetic field profiles on Eddy-current braking. **IEEE Transactions on Magnetism**, año 1970, v. 6, n. 2, p. 255-260. <https://doi.org/10.1109/tmag.1970.1066758>

REITZ, J. R., Milford, F. J., Christy, R. W. **Fundamentos de teoría electromagnética**. 3era edición. Addison-Wesley Interamericana, 2008.

BUTKOV, E. **Mathematical Physics**. St. John's University, Nueva York, Estados Unidos: Addison-Wesley Publishing Company, 1973, p. 154-156, 291-294, 503-543.

GRATTON, J. **Introducción a la Mecánica de Fluidos**. Buenos Aires, Argentina, 2002, p. 51, 52, 57-59.

ARIS, R. **Vectors, Tensors and the Basic Equations of Fluid Mechanics**. Dover Publications, 1989, Chapter 6, ISBN: 0-486-66110-5

JONTZ, M. L. Permanent magnets in the ceramic industry. **Transactions of the Indian Ceramic Society**, año 1948, v. 7, n. 2, p. 64-68. <https://doi.org/10.1080/0371750x.1948.10877851>



# PROPRIEDADES DAS FIBRAS REGENERADAS DE CELULOSE

---

*Data de aceite: 02/01/2024*

**Aline Ferreira Knhis**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil – PGETEX,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Departamento de Engenharia Têxtil -  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**Beatriz Barbosa de Brito**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil – PGETEX,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Departamento de Engenharia Têxtil -  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**Clara Leal Schwertl**

Graduação em Engenharia Têxtil,  
Departamento de Engenharia Têxtil,  
Universidade Federal de Santa Catarina –  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**Lucas Souza da Silva**

Graduação em Engenharia Têxtil,  
Departamento de Engenharia Têxtil,  
Universidade Federal de Santa Catarina –  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**José Alexandre Borges Valle**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil – PGETEX,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Departamento de Engenharia Têxtil -  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil  
Graduação em Engenharia Têxtil,

Departamento de Engenharia Têxtil,  
Universidade Federal de Santa Catarina –  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**Andrea Cristiane Krause Bierhalz**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil – PGETEX,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Departamento de Engenharia Têxtil -  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil  
Graduação em Engenharia Têxtil,  
Departamento de Engenharia Têxtil,  
Universidade Federal de Santa Catarina –  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**Rita de Cassia Siqueira Curto Valle**

Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil – PGETEX,  
Universidade Federal de Santa Catarina,  
Departamento de Engenharia Têxtil -  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil  
Graduação em Engenharia Têxtil,  
Departamento de Engenharia Têxtil,  
Universidade Federal de Santa Catarina –  
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**RESUMO:** A indústria têxtil busca por tecnologias sustentáveis que atendam às necessidades dos consumidores. A fibra de viscose, embora valorizada no mercado, não é sustentável devido ao uso de compostos

tóxicos. A dissolução direta da celulose em solventes recicláveis surge como uma alternativa para substituir o processo de viscose e obtenção de fibras com propriedades interessantes para a produção de artigos têxteis. Este estudo descreve os processos de produção de viscose, liocel/NMMO e liocel/líquidos iônicos, bem como as diferenças nas propriedades das fibras. O objetivo deste estudo é apresentar alternativas mais sustentáveis na produção de fibras têxteis, considerando a busca por uma indústria ecologicamente responsável.

**PALAVRAS-CHAVE:** processo de viscose, processo liocel, processo líquidos iônicos.

## 1 | INTRODUÇÃO

As fibras ou filamentos têxteis são o menor componente de natureza pilosa que pode ser extraído ou separado de um material têxtil. Fibras possuem comprimento limitado, enquanto os filamentos possuem comprimento ilimitado, sendo que esse último pode ser convertido em fibras (por meio de corte) de acordo com as características desejáveis para as propriedades e usos nos processos têxteis. Podem ser naturais ou manufaturadas e que, para serem utilizadas na produção de tecidos e estruturas têxteis por meio de diversos processos são primeiramente transformadas em fios e. Para que as fibras sejam fiáveis, é necessário que atendam a requisitos como comprimento mínimo de 5 mm, flexibilidade, coesão e resistência. Além disso, propriedades como elasticidade, finura, uniformidade, durabilidade e brilho também são requisitos importantes para o desempenho do fio (QIN, 2016).

A disponibilidade de uma ampla variedade de fibras oferece características estruturais distintas aos produtos têxteis, resultando em diferentes propriedades físicas e químicas que contribuem para o desempenho final dos produtos (ELMOGAHZY, Y. E., 2020). A qualidade e as propriedades das fibras têxteis dependem de sua composição química e do processo de formação/produção, que podem envolver modificações voluntárias ou involuntárias, bem como tratamentos específicos de acabamento. Portanto, as fibras são caracterizadas por suas propriedades físicas, mecânicas, químicas e biológicas (CHERIF, 2016).

As fibras têxteis podem ser classificadas em diferentes categorias. A Lei de Identificação de Produtos de Fibras Têxteis, estabelecida em 1960, divide as fibras principalmente em naturais ou manufaturadas (KARMAKAR, 1999). As fibras naturais podem ser de origem celulósica, como algodão, linho e juta, ou de origem proteica, como lã e seda. Já as fibras manufaturadas são divididas em duas categorias: fibras sintéticas e fibras regeneradas. As fibras sintéticas são produzidas a partir de matérias-primas petroquímicas e incluem poliéster, poliamida e acrílico. As fibras regeneradas são obtidas quimicamente a partir da dissolução de matérias-primas vegetais e animais e incluem a viscose, liocel, acetato de celulose, e fibras de leite, por exemplo (ELMOGAHZY, Y. E., 2020).

As fibras celulósicas desempenham um papel importante como matéria-prima na indústria têxtil. A celulose é o biopolímero natural mais abundante da Terra, sendo um

recurso renovável e biodegradável (DISSANAYAKE *et al.*, 2018). A estrutura da celulose consiste em moléculas de  $\beta$ -glicose unidas por ligações  $\beta$ -1,4-glicosídicas, formando uma estrutura linear, não ramificada e semi-cristalina. O grau de polimerização da celulose varia de acordo com o número de unidades de glicose repetidas em uma cadeia de celulose, podendo variar até cerca de mais de 10.000 para celulose bacteriana (ACHARYA; HU; ABIDI, 2021; PINKERT *et al.*, 2009).

As fibras de algodão representam a forma mais pura de obtenção de celulose vegetal (CIECHAŃSKA; WESOŁOWSKA; WAWRO, 2009). A composição química das fibras de algodão é composta principalmente por celulose (88,0-96,5%), além de outros componentes não celulósicos, como proteínas (1,0-1,9%), ceras (0,4-1,2%), pectinas (0,4-1,2%), inorgânicos (0,7-1,6%) e outras substâncias (0,5-8,0%). Os compostos não celulósicos estão localizados nas camadas externas das fibras (cutícula e parede celular primária), enquanto a celulose está concentrada nas camadas internas (parede celular secundária) (S. GORDON; Y. L. HSIEH, 2007). Os compostos considerados impurezas são removidos durante o beneficiamento primário do algodão (KARAPINAR; SARIISIK, 2004). Pelas propriedades morfológicas do algodão, é considerado uma fonte interessante para produção de fibras celulósicas regeneradas (SHABBIR; MOHAMMAD, 2017);

A fibra de celulose regenerada é um tipo de fibra manufaturada ou artificial que utiliza celulose como matéria-prima (CHEN, 2015). As principais fontes para a obtenção de fibras de celulose regenerada são os linters de algodão e as polpas celulósicas de lenhosas de alto grau de polimerização, também conhecidas como polpas solúveis. As propriedades das fontes celulósicas utilizadas têm influência direta na qualidade das fibras de celulose regenerada (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021).

A fibra de celulose regenerada apresenta uma aparência lisa e brilhante, semelhante à seda, embora seja quimicamente diferente, e também exibe uma excelente capacidade de absorção de água, proporcionando o conforto das fibras naturais (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Os tecidos produzidos com fibras de celulose regenerada são macios e altamente maleáveis, tornando-os amplamente utilizados na fabricação de roupas (CHEN, 2015).

O processamento químico da celulose é complexo devido à estrutura morfológica biopolimérica, à estrutura cristalina parcial e às interações não covalentes entre as moléculas. A celulose não é solúvel em água nem em uma ampla variedade de compostos orgânicos, o que torna seu processamento desafiador (SINGH *et al.*, 2015). A celulose natural pode ser dissolvida por meio de processos de dissolução derivativos ou não derivativos (JIANG, X. *et al.*, 2020).

No processo derivativo, a celulose é modificada antes da dissolução, formando um novo intermediário. Isso significa que ocorrem modificações químicas na celulose antes de ela ser dissolvida para formar as fibras regeneradas. (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). No caso do processo de viscose, que utiliza soda cáustica (NaOH) e dissulfeto

de carbono ( $\text{CS}_2$ ), a celulose é modificada quimicamente para formar xantato de celulose de sódio antes de ser dissolvida como viscosa. O processo de viscosa é o sistema de derivatização mais comumente utilizado (SINGH *et al.*, 2015). Além do processo de viscosa, o acetato de celulose também é uma fibra de celulose regenerada obtida por meio de um processo derivado (CHEN, 2015).

Por outro lado, em processos não derivativos, a celulose é dissolvida diretamente no solvente, sem modificações para regenerar as fibras (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Esses processos são mais simples, pois não exigem etapas adicionais de derivatização da celulose. As modificações ocorrem principalmente na estrutura molecular da celulose, como na cristalinidade, orientação do cristal e tamanho do cristalito (CHEN, 2015). Os processos de dissolução direta incluem cupramônio (cupro), cloreto de lítio / N,N-dimetilacetamida (LiCl/DMAc) e o processo de liocel / N-óxido de N-metilmorfolina (NMMO) ou liocel / líquido iônico (JIANG, X. *et al.*, 2020).

O processo de viscosa é o processo dominante na produção de fibras de celulose regeneradas, seguido do liocel e cupro (ZHANG, S. *et al.*, 2018). Como relatado, existem diversos processos de produção de fibra de celulose regeneradas e, neste artigo de revisão, serão destacados os processos de viscosa e liocel (NMMO e líquido iônico).

A tecnologia de viscosa foi originalmente patenteada em 1892 pelos químicos britânicos Charles Croos, Edward Bevan e Clayton Beadle. O método de fiação a partir da fibra de viscosa foi comercializado com sucesso em 1904, sendo patenteado por Samuel Courtauld & Co. Ltd, na Inglaterra (CHEN, 2015). O processo de viscosa envolve várias etapas, sendo as duas principais realizadas com soda cáustica, cuja mistura com a polpa celulósica produz celulose alcalina e com dissulfeto de carbono. A celulose alcalina obtida é tratada com dissulfeto de carbono ( $\text{CS}_2$ ). O dissulfeto de carbono reage com a celulose alcalina para formar uma substância chamada xantato de celulose de sódio. O xantato de celulose de sódio é solubilizado em uma solução alcalina para formar uma substância viscosa conhecida como viscosa. A seguir, ocorre a fiação da viscosa para obter fios de celulose regenerada, coagulação dos fios em uma solução ácida, estiramento dos fios e processamento final. (CHEN, 2015). Um esquema do processo de viscosa é demonstrado na .

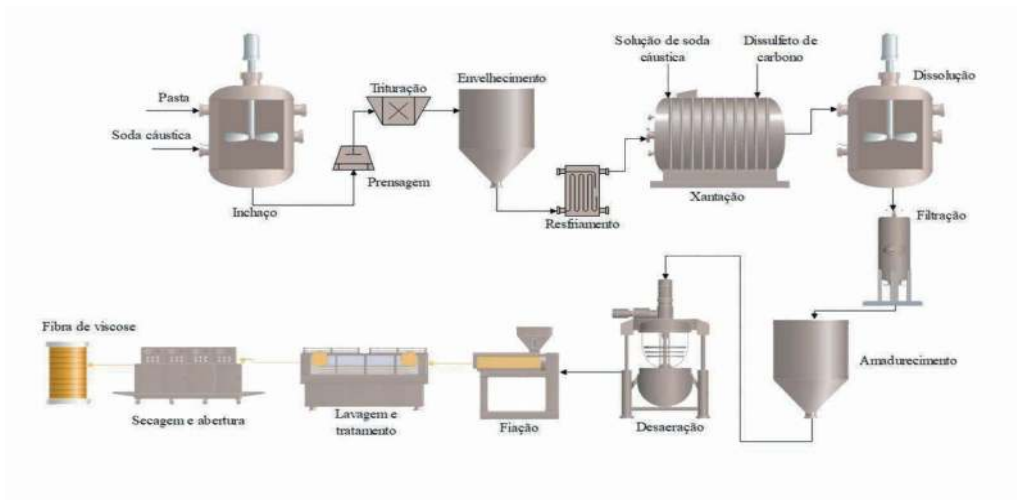


Figura 1. Esquema do processo de produção de fibras de viscose

O processamento da viscose produz resíduos químicos tóxicos durante a produção, causando poluição ambiental. Um dos maiores problemas é a utilização de dissulfeto de carbono ( $\text{CS}_2$ ), em função da poluição da água e do ar com compostos de enxofre, além dos riscos de incêndio e explosão (CIECHAŃSKA; WESOŁOWSKA; WAWRO, 2009). Este processo também consome muita energia e alta demanda de mão de obra (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Além disso, com o uso dessa tecnologia há riscos de acidente de trabalho quando os trabalhadores são expostos a produtos tóxicos, em decorrência de possíveis explosões e vazamentos (ALEXANDRA FREITAS; AND RUTH MATHEWS, 2017).

A demanda por um processo ambientalmente correto para a produção de fibras de celulose regeneradas levou ao desenvolvimento da tecnologia liocel em 1939, com a primeira patente publicada por Charles Graenacher (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021; RANA *et al.*, 2014). No processo de liocel, o NMMO (N-metilmorfolina-N-óxido) é utilizado como solvente para a dissolução da celulose, sendo um processo de dissolução direta. O solvente NMMO não é tóxico e os efluentes produzidos não são perigosos (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). O processo de fabricação da fibra é demonstrado na Figura 2.

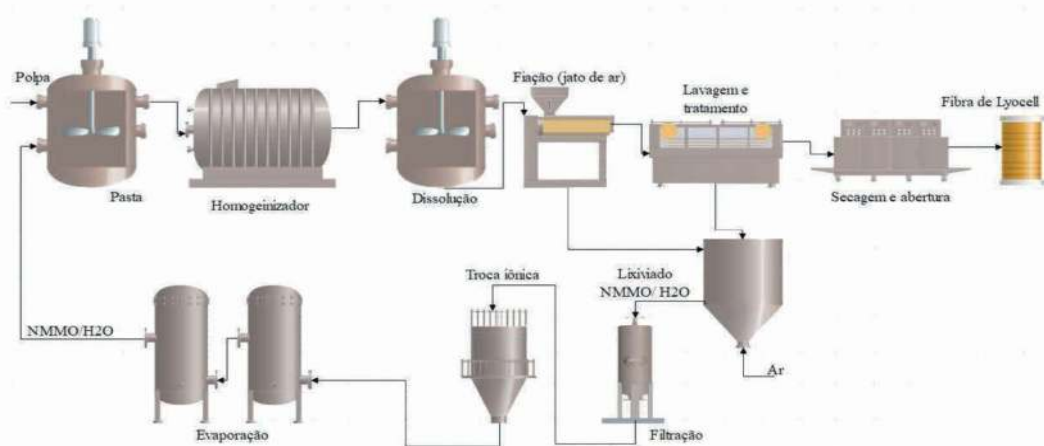


Figura 2. Processo de liocel baseado em NMMO

O processo de liocel ocorre por meio da dissolução direta, sem a formação de derivados intermediários de celulose. O solvente NMMO pode ser recuperado e reciclado, reduzindo o impacto com a geração de efluentes (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). No entanto, o processo liocel utilizando NMMO também apresenta desvantagens, como a ocorrência de reações secundárias oxidativas, formando produtos secundários, afetando as propriedades da fibra e exigindo grande quantidade de estabilizadores (MEKSI; MOUSSA, 2017; MICHUD; HUMMEL; SIXTA, 2015). Além das reações secundárias, o processo apresenta instabilidade térmica e necessita de altas temperaturas para o processo de dissolução (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019).

O processo de dissolução de celulose em líquido iônico é um método de dissolução direta relativamente recente, sendo relatado pela primeira vez em 2002 (HERMANUTZ *et al.*, 2019). Os líquidos iônicos apresentam perspectivas ecológicas e industriais muito promissoras, devido à sua propriedade de dissolução e capacidade de fiação de fibras de celulose regeneradas (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Os líquidos iônicos consistem em cátions e ânions, que se diferem no tamanho da molécula e possuem flexibilidade estrutural, podendo selecionar os íons de cátions e ânions conforme a necessidade de aplicação (MOHD *et al.*, 2017). Deste modo, alguns solventes de líquidos iônicos apresentam melhor solubilidade, como os líquidos iônicos à base de imidazol (SHUHUA *et al.*, 2020). O mecanismo de dissolução de celulose em líquidos iônicos é semelhante ao NMMO e o processo de produção por fiação a seco/úmido é análogo ao ilustrado na Figura 2.

A celulose dissolvida em líquido iônico pode ser processada por fiação a úmido (*wet*

*spinning*) ou por fiação a úmido com jato seco (*dry jet wet spinning*), permitindo alterações das propriedades da fibra de acordo com a necessidade desejada. Essas propriedades também são influenciadas pela cristalinidade, grau de polimerização e a estabilidade das ligações de hidrogênio (HERMANUTZ *et al.*, 2019).

Os solventes utilizados na dissolução da celulose devem ser capazes de satisfazer os domínios hidrofílico e hidrofóbico da celulose. Nos líquidos iônicos, os ânions desempenham a função fundamental na dissolução da celulose e essa capacidade de dissolução aumenta com o aumento da capacidade de aceitar ligações de hidrogênio (VERMA *et al.*, 2019). O desempenho do cátion é incerto, alguns estudos relatam que os cátions podem fornecer interações de van der Waals, outros que os cátions formam ligações de hidrogênio fracas, além de poderem formar ligações covalentes com a extremidade redutora da celulose (ALEXANDRIDIS *et al.*, 2018; MOHD *et al.*, 2017).

A celulose é regenerada a partir da solução de líquido iônico quando adicionado solventes próticos (anti-solvente), por exemplo água, etanol, acetona, gerando um grande volume de solução de líquido iônico. Diante disto, a reciclagem deste solvente orgânico deve ser considerada, pois, o descarte da solução pode causar problemas ambientais, devido à lenta degradação e toxicidade. Além disso, o líquido iônico pode ser reutilizado em novos ciclos de dissolução (TRINH *et al.*, 2013).

No entanto, foi observada a necessidade de aprofundar as investigações nessa temática, a fim de que o processo de utilização de líquidos iônicos na produção de fibras regeneradas seja otimizado e suas propriedades sustentáveis possam ser consideradas na aplicação industrial (MEKSI; MOUSSA, 2017; SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo apresentar as propriedades das fibras de celulose regenerada obtidas através dos processos de viscose, liocel/ NMMO e liocel/ líquido iônico.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de revisão de literatura foi desenvolvido a partir de artigos selecionados nas bases de dados Periódicos Capes, *Science Direct*, *Springer*, *Scopus* e *Google Scholar*. A pesquisa adotou o critério de inclusão e exclusão de palavras-chave, tais como: *viscose process*, *lyocell process NMMO* e *lyocell process ionic liquids*, de artigos completos, revisados por pares e publicados em um período de dez anos, compreendido entre 2012 e 2021.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a comparação das propriedades foram selecionados 50 artigos dos 4.282 estudos que envolvem as propriedades de fibras regeneradas, obtidas por meio dos

processos de viscose e liocel. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a evolução das investigações ao longo de 10 anos.

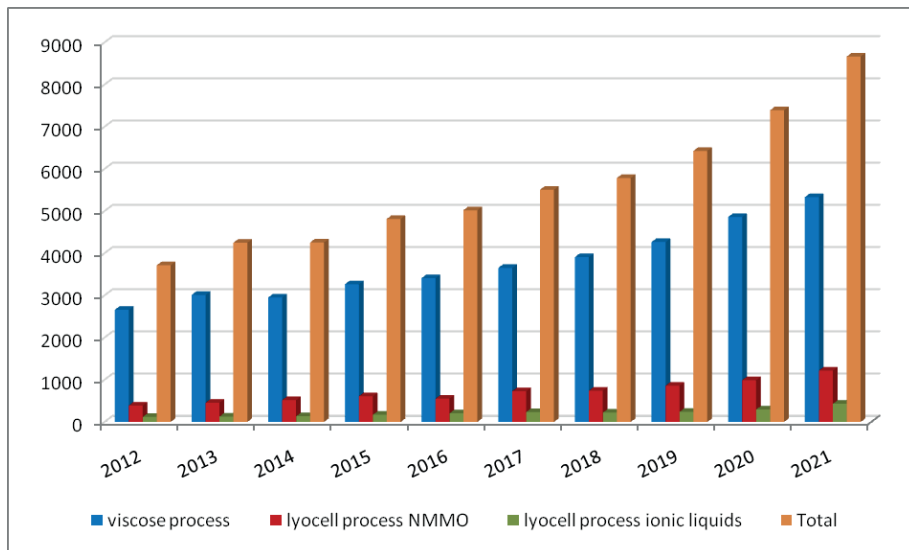


Figura 3. Número de publicações sobre as propriedades de fibras regeneradas obtidas pelo processo de viscose e liocel nos últimos 10 anos.

O número de estudos que envolve a palavra-chave “*lyocell process*” praticamente dobrou entre 2012 e 2021. Em análise da evolução das pesquisas é verificado um salto significativo para o termo “*viscose process*”, que passou de cerca de 2500 trabalhos em 2012 para mais de 5000 trabalhos em 2021. A inclusão do termo “*lyocell ionic liquids*” neste levantamento ressalta o menor número de estudos, no entanto, pode-se observar a evolução com o tempo. A análise deste aumento recente demonstra a atualidade do tema para expansão e aprofundamento das pesquisas. Os trabalhos levantados neste estudo de revisão discutem propriedades físicas e morfológicas das fibras regeneradas de celulose produzidas a partir de processos viscose e liocel.

## Cristalinidade

A cristalinidade é uma das características que diferenciam as fibras regeneradas produzidas pelos processos de viscose, liocel à base de NMMO e liocel baseado em líquidos iônicos. Embora todas sejam originadas da celulose, diversos fatores ao longo da cadeia de produção resultam em diferenças nas propriedades mecânicas dessas fibras. A cristalinidade das fibras celulósicas varia de 20% a 60% (ASAADI *et al.*, 2018). A viscose, pertencente ao grupo da celulose tipo II, apresenta uma estrutura com baixa orientação e, consequentemente, menor valor de cristalinidade (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). Já o processo de liocel, devido ao métodos de dissolução e extrusão utilizados, resulta



em fibras com maior peso molecular e maior cristalinidade, conferindo maior resistência à tração e menor elasticidade (JIANG, G. *et al.*, 2018). Fatores como baixa degradação da fibra durante o processo de fabricação, uma boa área de contato entre as fibrilas e grandes cadeias de celulose formando ligações de hidrogênio intermoleculares também contribuem para a resistência à tração superior do liocel (JIANG, X. *et al.*, 2020).

O processo de fiação úmido por jato seco utilizado na fabricação da fibra de liocel favorece a cristalização das cadeias celulósicas, resultando em um maior valor de cristalinidade em comparação com a viscose (JIANG, G. *et al.*, 2018). Nesse método, o aumento da velocidade durante a extração da fibra leva a uma maior orientação e cristalinidade (ZHANG, S. *et al.*, 2018). As fibras produzidas pelos métodos convencionais de liocel e líquido iônico possuem maior orientação e grau de polimerização, resultando em uma maior regularidade tanto no comprimento quanto na seção transversal (JIANG, G. *et al.*, 2018).

## Resistência à tração

A resistência mecânica do liocel é superior à da viscose devido a vários fatores. O liocel não apresenta degradação significativa da celulose durante o processo de fiação, devido às ligações de hidrogênio intermoleculares fortes e à cadeia de celulose longa. Além disso, o liocel possui alta cristalinidade, contato firme entre as moléculas de celulose e alta orientação nas regiões cristalinas e amorfas, o que contribui para sua resistência à tração (JIANG, X. *et al.*, 2020). A solução de fiação do liocel também possui um grau de polimerização mais alto do que a solução de viscose, o que contribui para a maior resistência mecânica do liocel (ZHANG, S. *et al.*, 2018).

Outro fator relevante pode ser destacado na tecnologia de fiação, tendo em vista a relação entre a fiação úmido com jato a seco para o processo de liocel e a fiação a úmido para o processo de viscose. Neste último, não há tempo suficiente para a orientação da *dope* devido à ausência do estiramento antes do banho de coagulação (ZHANG, S. *et al.*, 2018), o que pode resultar em uma estrutura de fibra menos orientada e com menor resistência. Vale destacar também que a fibra de viscose perde cerca de metade de sua resistência à tração quando molhada (ZHANG, S. *et al.*, 2018).

## Tenacidade

A tenacidade, que representa a capacidade de suportar uma carga de ruptura antes de se romper, é outro parâmetro importante para as fibras regeneradas. Estudos demonstram que a substituição de solventes derivatizantes por solventes mais sustentáveis no processo de dissolução da celulose tende a aumentar a resistência à ruptura das fibras regeneradas (BOTELHO, 2017; EL SEOUD *et al.*, 2020; JADHAV *et al.*, 2021; SAYYED;

DESHMUKH; PINJARI, 2019; YUAN *et al.*, 2018).

As fibras de viscose, que passam por processos de mercerização, envelhecimento e xantação, apresentam menor tenacidade, variando na faixa de 22-26 cN/tex (EL SEOUD *et al.*, 2020). Em contraste, as fibras regeneradas produzidas pelo processo liocel convencional, com base em NMMO, apresentam uma tenacidade na faixa de 37,2-48,7 cN/tex (cN/tex) (BJÖRQUIST *et al.*, 2018). As fibras fiadas a partir do material celulósico produzido para esse estudo apresentaram características físicas excelentes, sobretudo a tenacidade. A resposta dessa propriedade sugere ainda que as fibras com alta resistência também são resistentes à umidade (ZHANG, H. *et al.*, 2021).

O processo do tipo liocel para a produção de fibras regeneradas baseado na dissolução direta da celulose em um líquido iônico demonstrou potencial capacidade de manter e melhorar a propriedade de resistência à ruptura. Nos ensaios de fiação da pesquisa de Elsayed *et al.* (2020) foram avaliadas as propriedades das fibras, dentre elas a tenacidade. Os resultados mostraram que as tenacidades das fibras regeneradas neste processo são equivalentes ou superiores às das fibras de liocel à base de NMMO, com valores que variam de 38,6-52,8 (cN/tex). A tenacidade da fibra tende a aumentar à medida que aumenta o seu contato com o líquido iônico no banho de coagulação, embora este resultado desfavoreça as características de alongamento. As alterações nas propriedades das fibras podem estar intrinsecamente relacionadas à cinética das etapas de coagulação e regeneração (GUIZANI *et al.*, 2021; NISHIYAMA *et al.*, 2019).

## Alongamento

As fibras de celulose regeneradas fabricadas utilizando processos liocel e viscose apresentam diferenças em sua resposta estrutural à deformação por alongamento, devido ao fato que o alongamento está relacionado com a cristalinidade e orientação cristalina das fibras de celulose (SHARMA *et al.*, 2019). O aumento da cristalinidade resulta em maior tenacidade e menor alongamento (MICHUD; HUMMEL; SIXTA, 2015). A fibra de liocel à base de NMMO apresenta menor alongamento devido à sua alta zona cristalina e estruturas uniformes, enquanto a fibra de viscose tende a ter boa elasticidade (CHEN, 2015; ZHANG, S. *et al.*, 2018). As fibras de liocel produzidas a partir de líquidos iônicos mostram variações compatíveis com as demais fibras.

## Secção transversal das fibras

A morfologia da seção transversal das fibras também varia de acordo com o processo de regeneração. A fibra de viscose possui uma seção transversal semelhante a um círculo irregular com contorno serrilhado e superfície lisa, com um núcleo de alta cristalinidade cercado por uma camada de cristalinidade mais baixa. A seção transversal da viscose pode ser alterada modificando a concentração de  $H_2SO_4$  no banho de fiação (MANIAN;

PHAM; BECHTOLD, 2018; SHARMA *et al.*, 2019). Por outro lado, as fibras de liocel (NMMO e líquido iônico) possuem uma seção transversal circular e superfície longitudinal lisa e cilíndrica, proporcionando uma melhor sensação de caimento (CHEN, 2015). A morfologia da seção transversal é consequência do processo de regeneração.

Em resumo, as fibras regeneradas obtidas pelos processos de viscose, liocel à base de NMMO e liocel baseado em líquidos iônicos apresentam diferenças em suas características físicas e morfológicas, como cristalinidade, resistência à tração, tenacidade, alongamento e seção transversal. Cada processo possui vantagens e desvantagens, e a escolha do processo mais adequado depende das propriedades desejadas para a aplicação específica das fibras regeneradas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as propriedades físicas relevantes para o desempenho mecânico dessas fibras.

| Fibra       | Tenacidade (cN/tex)     | Alongamento (%)        | Resistência à tração (cN/tex) | Densidade (g/cm³)       | Cristalinidade (%)  | Referências                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Viscose     | <sup>1</sup> 22-26      | <sup>2</sup> 17-25     | <sup>3</sup> 20-26            | <sup>4</sup> 1,52-1,54  | <sup>5</sup> 39     | <sup>1</sup> El Seoud <i>et al.</i> (2020); <sup>2</sup> Zhang, S. <i>et al.</i> (2018); <sup>3</sup> Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); <sup>4</sup> Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); <sup>5</sup> Jiang, X. <i>et al.</i> , (2020)     |
| Liocel NMMO | <sup>6</sup> 37,2-48,7  | <sup>7</sup> 10-17     | <sup>8</sup> 35-47            | <sup>9</sup> 1,50       | <sup>10</sup> 62    | <sup>6</sup> Björquist <i>et al.</i> (2018); <sup>7</sup> Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); <sup>8</sup> Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); <sup>9</sup> Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); <sup>10</sup> Jiang, X. <i>et al.</i> , (2020) |
| Liocel LI   | <sup>11</sup> 38,6-52,8 | <sup>12</sup> 7,5-13,7 | <sup>13</sup> 12-35           | <sup>14</sup> 1,02-1,39 | <sup>15</sup> 41,98 | <sup>11</sup> Elsayed <i>et al.</i> , (2020); <sup>12</sup> Elsayed <i>et al.</i> , (2020); <sup>13</sup> Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); <sup>14</sup> Lopes <i>et al.</i> , (2017); <sup>15</sup> Lee <i>et al.</i> , (2019)         |

Tabela 1. Propriedades de diferentes fibras regeneradas de celulose

## 4 | CONCLUSÃO

As fibras de celulose regenerada têm ganhado cada vez mais espaço em estudos como forma de obtenção de fibra que se assemelha em propriedades com aquelas apresentadas pelo algodão, considerado que o algodão se encontra em condições limites de produção para o atendimento das necessidades da indústria têxtil em termos de fibras

celulósicas.

Apesar de se tratar de um processo não muito recente, as fibras de celulose regenerada estão passando por um constante desenvolvimento visando a otimização das tecnologias de produção de fibras têxteis, com foco na qualidade e sustentabilidade ambiental. Atualmente, a fibra de viscose é a mais amplamente comercializada devido ao seu baixo custo operacional e qualidade moderada. No entanto, ela está longe de ser considerada uma opção ambientalmente correta.

Por outro lado, a fibra de liocel, baseada no processo de dissolução direta utilizando NMMO, destaca-se como uma alternativa mais sustentável. Esse processo permite a reciclagem do solvente, contribuindo para a redução do impacto ambiental. Além disso, as propriedades da fibra de liocel/NMMO são superiores às da viscose, tornando-a adequada para diversas aplicações têxteis. Apesar das vantagens, a instabilidade durante o processo e o alto custo ainda são desafios que impedem sua ampla adoção em comparação o processo da viscose.

Um sistema promissor é o processo de dissolução direta de liocel utilizando líquidos iônicos. Essa tecnologia é limpa, sustentável e possui um grande potencial de avanço industrial. A utilização de líquidos iônicos na produção da fibra de liocel proporciona propriedades únicas, além de reduzir significativamente o consumo de água e a geração de efluentes. Espera-se que em breve essa nova tecnologia esteja disponível no mercado, oferecendo fibras de celulose regenerada de alta qualidade e ambientalmente aceitáveis.

Esses avanços na produção de fibras de celulose regenerada refletem um compromisso crescente com a sustentabilidade e a busca por alternativas mais eco-friendly na indústria têxtil. À medida que as tecnologias continuam evoluindo e se aprimorando, é esperado um futuro promissor para as fibras de celulose regenerada, oferecendo uma combinação ideal entre qualidade, desempenho e responsabilidade ambiental.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES - Código Financeiro 001), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão de bolsa de estudos e suporte financeiro (Processo nº 2021TR000327).

## REFERÊNCIAS

ACHARYA, Sanjit; HU, Yang; ABIDI, Nouredine. Cellulose dissolution in ionic liquid under mild conditions: Effect of hydrolysis and temperature. **Fibers**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fib9010005>

ALEXANDRA FREITAS; AND RUTH MATHEWS. Viscose fibres production: an assessment of sustainability issues. **Current History**, [s. l.], v. 116, n. 792, p. 288–288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/curh.2017.116.792.288>

ALEXANDRIDIS, Paschalis *et al.* Solvent processing of cellulose for effective bioresource utilization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, [s. l.], v. 14, p. 40–52, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.05.008>

ASAADI, Shirin *et al.* Structural analysis of loncell-F fibres from birch wood. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 181, p. 893–901, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.062>

BJÖRQUIST, Stina *et al.* Textile qualities of regenerated cellulose fibers from cotton waste pulp. **Textile Research Journal**, London, England, v. 88, n. 21, p. 2485–2492, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0040517517723021>

BOTELHO, M H C. **Resistência dos materiais: para entender e gostar**. [S. l.]: BLUCHER, 2017.

CHEN, J. Synthetic Textile Fibers. In: UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN (org.). **Textiles and Fashion**. Austin, TX, USA: Elsevier, 2015. p. 79–95. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00004-0>

CHERIF, Chokri. **Textile Materials for Lightweight Constructions**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46341-3>

CIECHAŃSKA, D.; WESOŁOWSKA, E.; WAWRO, D. An introduction to cellulosic fibres. In: HANDBOOK OF TEXTILE FIBRE STRUCTURE. [S. l.]: Elsevier, 2009. v. 2, p. 3–61. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9781845697310.1.3>

DISSANAYAKE, Niwanthi *et al.* Substituent effects on cellulose dissolution in imidazolium-based ionic liquids. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 12, p. 6887–6900, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2055-1>

EL SEOUD, Omar A *et al.* Cellulose Regeneration and Chemical Recycling: Closing the “Cellulose Gap” Using Environmentally Benign Solvents. **Macromolecular Materials and Engineering**, [s. l.], v. 305, n. 4, p. 1900832, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mame.201900832>

ELMOGAHZY, Y. E. Fibers. In: ELMOGAHZY, Yehia E B T - Engineering Textiles (Second Edition) (org.). **Engineering Textiles**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2020. p. 191–222. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102488-1.00008-3>

ELSAIED, Sherif *et al.* Recycling of Superbase-Based Ionic Liquid Solvents for the Production of Textile-Grade Regenerated Cellulose Fibers in the Lyocell Process. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 37, p. 14217–14227, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.0C05330/SUPPL\\_FILE/SC0C05330\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.0C05330/SUPPL_FILE/SC0C05330_SI_001.PDF). Acesso em: 4 dez. 2021.

GUIZANI, C *et al.* Air gap spinning of a cellulose solution in [DBNH][OAc] ionic liquid with a novel vertically arranged spinning bath to simulate a closed loop operation in the loncell® process. **Journal of Applied Polymer Science**, Department of Bioproducts and Biosystems, Aalto University, Espoo, Finland, v. 138, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.49787>

HERMANUTZ, Frank *et al.* Processing of Cellulose Using Ionic Liquids. **Macromolecular Materials and Engineering**, Weinheim, v. 304, n. 2, p. 1800450, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mame.201800450>

JADHAV, Sachin *et al.* Modified Lyocell process to improve dissolution of cellulosic pulp and pulp blends in NMMO solvent. **Cellulose**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 973–990, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03580-1>

JIANG, Guansen *et al.* Structure and properties of regenerated cellulose fibers from different technology processes. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 87, n. 3, p. 2012–2018, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.022>

JIANG, Xiaoya *et al.* A review on raw materials, commercial production and properties of lyocell fiber. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 16–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.002>

KARAPINAR, Emre; SARIISIK, Merih Ones. Scouring of cotton with cellulases, pectinases and proteases. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 79–82, 2004.

KARMAKAR, S. R. Chapter 15 Application of biotechnology in the pre-treatment processes of textiles. In: ELSEVIER BV (org.). **Textile Science and Technology**. [S. l.: s. n.], 1999. p. 418–440. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0920-4083\(99\)80016-4](https://doi.org/10.1016/S0920-4083(99)80016-4)

MANIAN, Avinash P; PHAM, Tung; BECHTOLD, Thomas. 10 - Regenerated cellulosic fibers. In: BUNSELL, Anthony R B T - Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition) (org.). **The Textile Institute Book Series**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2018. p. 329–343. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101272-7.00010-9>

MEKSI, Nizar; MOUSSA, Ali. A review of progress in the ecological application of ionic liquids in textile processes. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 161, p. 105–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.066>

MENDES, Inês S.F.; PRATES, António; EVTUGUIN, Dmitry V. Production of rayon fibres from cellulosic pulps: State of the art and current developments. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 273, p. 118466, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118466>

MICHUD, Anne; HUMMEL, Michael; SIXTA, Herbert. Influence of molar mass distribution on the final properties of fibers regenerated from cellulose dissolved in ionic liquid by dry-jet wet spinning. **Polymer**, [s. l.], v. 75, p. 1–9, 2015. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymer.2015.08.017>

MOHD, N. *et al.* Dissolution of cellulose in ionic liquid: A review. **AIP Conference Proceedings**, [s. l.], v. 1809, n. February 2017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4975450>

NISHIYAMA, Yoshiharu *et al.* Water-induced crystallization and nano-scale spinodal decomposition of cellulose in NMMO and ionic liquid dope. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 281–289, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10570-018-2148-X/FULLTEXT.HTML>

PINKERT, André *et al.* Ionic liquids and their interaction with cellulose. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 109, n. 12, p. 6712–6728, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr9001947>

QIN, Yimin. A brief description of textile fibers. **Medical Textile Materials**, [s. l.], p. 23–42, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100618-4.00003-0>

RANA, Sohel *et al.* Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability BT - Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing: Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods. *In:* MUTHU, Subramanian Senthilkannan (org.). Singapore: Springer Singapore, 2014. p. 239–276. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0_8)

S. GORDON; Y. L. HSIEH. **Cotton: Science and technology**. Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2007.

SAYYED, Anwar J.; DESHMUKH, Niteen A.; PINJARI, Dipak V. A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 2913–2940, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>

SHABBIR, Mohd; MOHAMMAD, Faqeer. **Sustainable production of regenerated cellulosic fibres**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00007-X>

SHARMA, Aakash *et al.* Structure–property relations in regenerated cellulose fibers: comparison of fibers manufactured using viscose and lyocell processes. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 3655–3669, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02352-w>

SHUHUA, Wang *et al.* Recycling of cotton fibers separated from the waste blend fabric. **Journal of Natural Fibers**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 520–531, 2020.

SINGH, Poonam *et al.* From Cellulose Dissolution and Regeneration to Added Value Applications — Synergism Between Molecular Understanding and Material Development. *In:* INTECHOPEN (org.). **Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends**. Londres, Reino Unido: InTech, 2015. p. 1–44. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/61402>

TRINH, Ly Thi Phi *et al.* Recovery of an ionic liquid [BMIM]Cl from a hydrolysate of lignocellulosic biomass using electrodialysis. **Separation and Purification Technology**, [s. l.], v. 120, p. 86–91, 2013. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.025>

VERMA, Chandrabhan *et al.* Dissolution of cellulose in ionic liquids and their mixed cosolvents: A review. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s. l.], v. 13, n. April, p. 100162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100162>

YUAN, Wei *et al.* Cellulose acetate fibers with improved mechanical strength prepared with aqueous NMMO as solvent. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 6395–6404, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2032-8>

ZHANG, Huihui *et al.* Influence of cross-section shape on structure and properties of Lyocell fibers. **Cellulose**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 1191–1201, 2021.

ZHANG, Shaokai *et al.* Regenerated cellulose by the lyocell process, a brief review of the process and properties. **BioResources**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.Zhang>

# LÍQUIDOS IÔNICOS: PROPRIEDADES E APLICAÇÃO NA DISSOLUÇÃO E REGENERAÇÃO DA CELULOSE

Data de aceite: 02/01/2024

### Aline Ferreira Knhis

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

### Andrea Cristiane Krause Bierhalz

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

### Rita de Cassia Siqueira Curto Valle

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

**RESUMO:** Este estudo apresenta uma análise abrangente sobre os líquidos iônicos (LIs) e seu papel na dissolução da celulose. Os LIs são definidos como sais com ponto de fusão abaixo de 100 °C e possuem propriedades únicas, como elevada estabilidade térmica e química. São considerados solventes verdes, sendo não inflamáveis, pouco voláteis e

recicláveis. Os LIs à base de imidazol são amplamente estudados e possuem diversas aplicações como solventes, catalisadores, sensores e na área medicinal, as quais serão abordadas neste capítulo. Será dado destaque à capacidade dos LIs na dissolução da celulose em processo envolvendo baixas temperaturas e elevada estabilidade química, o qual é considerado promissor para a produção de fibras têxteis de celulose regenerada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Líquidos iônicos; Dissolução de celulose; Regeneração.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os líquidos iônicos (LIs) têm despertado um interesse crescente na área científica devido às suas propriedades únicas e às diversas aplicações que podem ser exploradas. Esses compostos são definidos como sais com um ponto de fusão abaixo de 100 °C e consistem em íons orgânicos e/ou inorgânicos. Desde sua descoberta, os LIs têm sido amplamente estudados e classificados de diferentes maneiras por diversos pesquisadores (HERMANUTZ *et al.*, 2019b; LETHESH *et*



*al.*, 2020).

Uma das características mais promissoras dos LIs é sua capacidade de dissolver e regenerar a celulose, um dos principais componentes da biomassa lignocelulósica. A dissolução da celulose em LIs oferece uma alternativa verde e de baixa temperatura para o processamento desse material, abrindo caminho para a produção de filmes e fibras celulósicas regeneradas com propriedades ajustáveis (PINKERT *et al.*, 2009; VERMA *et al.*, 2019).

Neste contexto, este capítulo tem como objetivo explorar as propriedades dos líquidos iônicos e suas aplicações na dissolução e regeneração da celulose. Serão abordados aspectos como a estrutura química dos LIs, os diferentes cátions e ânions utilizados, bem como os métodos de síntese e purificação desses compostos. Além disso, serão discutidas as principais aplicações dos LIs, tanto na área química quanto na área medicinal, ambiental e de materiais.

A dissolução da celulose em líquidos iônicos será explorada em detalhes, com ênfase nos mecanismos envolvidos e nas propriedades das fibras celulósicas regeneradas. Serão apresentados estudos recentes que investigam diferentes LIs e suas capacidades de dissolver a celulose, bem como os efeitos do processo de regeneração nas propriedades químicas, mecânicas e superficiais dessas fibras.

Em suma, este estudo pretende oferecer uma visão abrangente das propriedades dos líquidos iônicos e seu potencial na dissolução e regeneração da celulose. Espera-se que essa revisão contribua para o avanço do conhecimento nessa área e estimule pesquisas futuras que explorem ainda mais as aplicações desses compostos em processos sustentáveis de produção de materiais celulósicos.

## 2 | FIBRAS DE CELULÓSICA REGENERADA

As fibras de celulose regeneradas são aplicadas principalmente no setor têxtil de vestuário, na confecção de vestidos, blusas, calças dentre outras peças (ELSAIED *et al.*, 2020). Wu *et al.* (2019) desenvolveram um têxtil inteligente com a funcionalidade de resfriamento pessoal, a partir de fibras de celulose regeneradas contendo nanotubos de nitreto de boro (BNNS), conferindo um efeito de frescor superiores têxteis de algodão comerciais. Além disso, os filmes de celulose regenerada é um promissor material para embalagens de alimentos. As propriedades deste material podem ser moldadas para atender diferentes requisitos, como embalagens biodegradáveis, ativas ou inteligentes mantendo os alimentos seguros e até aumentando sua durabilidade (HUANG; WANG, 2022).

O processamento químico da celulose é bastante complicado, devido à complexidade da rede biopolimérica, da estrutura semicristalina e das interações não covalentes entre as moléculas. Sendo assim, a celulose não é fundível e nem solúvel em água ou em uma

grande variedade de compostos orgânicos (SINGH *et al.*, 2015). Os métodos de obtenção de celulose regenerada a partir de celulose natural pode se dar pela dissolução por meio de sistemas derivativos ou não derivativos (JIANG *et al.*, 2020).

No processo de derivatização, a celulose é modificada antes da dissolução, formando um composto intermediário. O processo de viscose é o mais utilizado nessa derivatização, enquanto o acetato de celulose também é obtido através desse processo. O processo de viscose foi patenteado em 1892 e envolve várias etapas com soda cáustica (NaOH) e dissulfeto de carbono (CS<sub>2</sub>). A fabricação da viscose começa com a extração da celulose de matérias-primas naturais, como a madeira. Em seguida, a celulose passa por tratamentos químicos com soda cáustica, transformando-a em celulose alcalina. Posteriormente, ocorre a xantatização da celulose alcalina com dissulfeto de carbono, formando o xantato de celulose de sódio. Esse xantato é dissolvido em uma solução alcalina, dando origem à viscose, uma substância viscosa. Os fios de celulose regenerada são produzidos pela fiação da viscose. Para torná-los insolúveis, os fios são coagulados em uma solução ácida. Por fim, os fios são esticados e processados para a produção final de produtos têxteis. Em geral, o processo de produção da viscose é relativamente longo e pode levar desde algumas horas até vários dias para ser concluído. As etapas de tratamento químico e a coagulação são especialmente críticas em termos de tempo e exigem controle rigoroso para garantir a qualidade dos produtos finais. Estas etapas resultam na geração de resíduos químicos tóxicos e alta demanda de energia e mão de obra. Além disso, esse processo apresenta riscos de acidentes de trabalho e poluição ambiental (CHEN, 2015; SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019; WOODINGS, 2001).

Por outro lado, no processo direto, a celulose é dissolvida diretamente no solvente, sem modificação prévia. Os processos de dissolução direta incluem cupramônio, cloreto de lítio / N,N-dimetilacetamida (LiCl/DMAc) e liocel. O processo de viscose é o dominante na produção de fibras de celulose regenerada, enquanto os processos de liocel e cupro são limitados devido ao custo. O processo liocel, utilizando N-óxido de N-metilmorfolina (NMMO) como solvente, foi desenvolvido como uma alternativa mais ambientalmente correta. No entanto, também apresenta desvantagens, como reações secundárias oxidativas, instabilidade térmica e alta temperatura de dissolução (MEKSI; MOUSSA, 2017; MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021).

Embora os processos apresentados apresentem uma metodologia já consolidada, ambos apresentam desvantagens durante o procedimento. Deste modo, o líquido iônico tem sido proposto como promissor solvente de dissolução da celulose, sendo este solvente associado ao movimento da química verde.

### 3 | LÍQUIDOS IÔNICOS

O termo líquido iônico (LI) surgiu em 1914, pela descoberta do pesquisador Paul

Walden, o qual descreveu os líquidos iônicos como sais com um ponto de fusão abaixo de 100 °C (PLECHKOVA; SEDDON, 2008). A partir desta definição, os líquidos iônicos foram definidos de diversas maneiras pelos pesquisadores, como por exemplo, que os líquidos iônicos consistem em íons orgânicos e/ou inorgânicos, podendo ser formado por diferentes cátions ou ânion (SHAMSHINA; ZAVGORODNYA; ROGERS, 2019).

Os líquidos iônicos são solventes de propriedades únicas, como baixa pressão de vapor, estrutura ajustável, pois é possível selecionar os cátions e ânions adequados para cada aplicação; apresentam alta estabilidade térmica e química, não são inflamáveis e voláteis e podem ser recicláveis, tornando-os assim, solventes verdes (GHANDI, 2014; OZOKWELU *et al.*, 2017). Os cátions mais utilizados são os imidazólios, piridínio ou lidínio, sendo cátions orgânicos. Já os ânions inorgânicos populares compreendem haletos, alquilsulfatos, alquilsulfonatos e em destaque, bis (trifluorometil-sulfonil) imida (SCHRODER, 2016).

Devido à grande variedade de possíveis compostos de LIs, classificar esta classe de material é importante. Os LIs podem ser classificados em várias categorias em diferentes bases. Segundo alguns autores os LIs são classificados em neutros, ácidos, básicos, funcionalizados, próticos, apróticos, quirais, suportados, bio-iônicos, de sais metálicos, polimerizados e energéticos (HAJIPOUR; RAFIEE, 2015; NEGI; PANDEY, 2015; OZOKWELU *et al.*, 2017).

Outro método comum de classificação de LIs é quanto ao tipo de cátion ou ânion utilizado (Figura 1). Em relação ao cátion pode-se distinguir pelos derivados de fósforo, amônio e enxofre. Já em relação ao ânion a classificação é subdividida em orgânica e inorgânica (BUSZEWSKA-FORAJTA; MARKUSZEWSKI; KALISZAN, 2018).

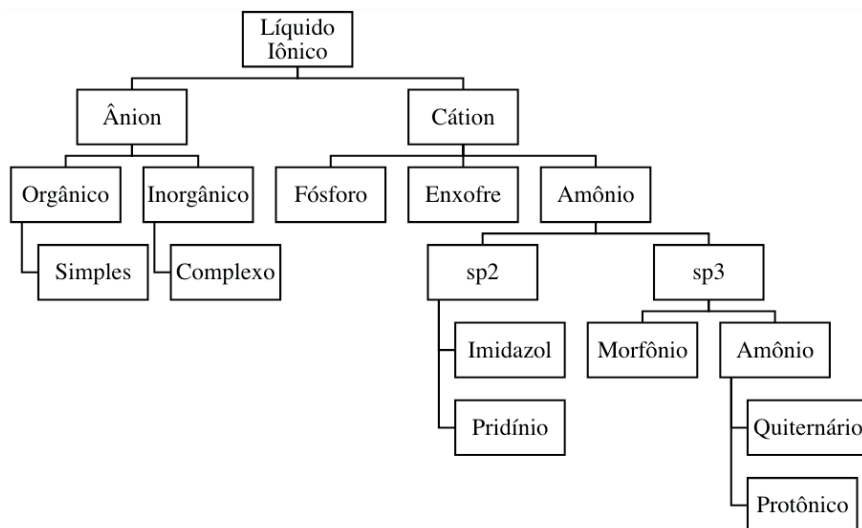


Figura 1 Classificação dos líquidos iônicos.

Fonte: Adaptado de Buszewska-Forajta, Markuszewski e Kaliszan, 2018.

É possível dividir os LIs em três gerações, que são dependentes da estrutura química e propriedade. A primeira geração é sensível à umidade e água e apresenta aplicação limitada. A segunda geração não é sensível à água e ar, e possui várias aplicações, como na eletroquímica. E na terceira geração, são empregados íons biodegradáveis e naturais ou com atividades biológicas conhecidas, sendo utilizados na área química, biológica e ecológica (EGOROVA; GORDEEV; ANANIKOV, 2017).

Os líquidos iônicos podem ser obtidos por meio de diversos percussores de cátions/ânions, sendo sintetizados principalmente pela reação de quaternização. No entanto, existem outras técnicas como troca aniônica ou metátese e métodos de neutralização ácido-base (SHAMSHINA; ZAVGORODNYA; ROGERS, 2019). Dependendo do método de síntese utilizados, os LIs podem apresentar impurezas, como aminas terciárias, halidos alquil ou sulfatos alquil. É possível realizar a purificação dos LIs por meio de extração com solvente polares (acetato de etila), extração da solução aquosa de LI com solvente orgânico imiscível (diclorometano), cromatografia de coluna *flash* em solvente orgânico ou tratamento com carvão ativado (PINKERT *et al.*, 2009).

Apesar de haver inúmeras combinações possíveis de cátions e ânions disponíveis para síntese dos LIs, os que possuem o imidazol como base têm sido amplamente relatados e investigados (GREEN; LONG, 2009). Os LIs à base de imidazol são compostos heteroátomos ricos em nitrogênio e propriedades como baixo ponto de fusão, alta estabilidade química e alto desempenho de ionização (NOORHISHAM *et al.*, 2021). Os LIs imidazólicos apresentam elevada estabilidade térmica, sendo que certos cátions de imidazol e ânions nucleofílicos fracos são estáveis a 250 °C. Esta estabilidade está atribuída à natureza aromática do anel, assim como a ligação intermolecular de hidrogênio (PAL; MUKHERJEE; GHOSH, 2021).

De acordo com a Figura 2, o anel de imidazol fornece uma grande variedade para LIs, devido ao fato de o anel aceitar e doar prótons durante as reações de substituições, permitindo reações no átomo de nitrogênio com posição 3 no anel. O outro nitrogênio na posição 1 do anel, pode sofrer diversas reações diferentes, assim como o íon contador pode ser trocado facilmente (DWORAK *et al.*, 2015).

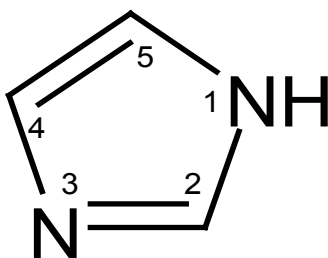


Figura 2 Anel de imidazol com posição numerada

Fonte: Autora, 2023.

Os LIs a base de imidazol oferecem muitas aplicações, como potenciais agentes de tratamento de água, solventes orgânicos verdes, assim como solventes para dissolução de biopolímeros e biomassa s naturais. Podem ainda ser utilizados em processos de catálise adsorção e em sensores (GREEN; LONG, 2009; NOORHISHAM *et al.*, 2021; PAL; MUKHERJEE; GHOSH, 2021).

### 3.1 Aplicações de líquidos iônicos

Nas últimas duas décadas, houve um aumento acentuado no número de estudos voltados aos líquidos iônicos, podendo esta alta popularidade estar relacionada com as propriedades únicas dos LIs (MARCINKOWSKA *et al.*, 2019). Os LIs possuem uma ampla aplicação como solventes ou co-catalisadores em diversas reações, incluindo catálise orgânica, síntese inorgânica, biocatálise, polimerização e purificação de gases (ZHAOH, 2006). Há uma tendência no aumento do uso de LIs na síntese de biodiesel a partir de óleos vegetais e gorduras animais e biocombustíveis, sendo estes empregados como catalisadores, solventes ou para otimizar o processo de produção. O pré-tratamento da matéria de lignocelulósica ou a dissolução da celulose também é um dos segmentos em destaque (KHRAISHEH *et al.*, 2021).

Além das aplicações na área química, os LIs apresentam aplicação na área medicinal, podendo ser utilizados como matéria-prima de fármacos ativos ou como aditivos para biomateriais (SHAMSHINA; ZAVGORODNYA; ROGERS, 2019). Ademais, há um uso crescente de LIs no processamento industrial, por exemplo nos processos de separação, extração ou purificação e isolamento de diferentes produtos (NASIRPOUR; MOHAMMADPOURFARD; ZEINALI HERIS, 2020).

Uma aplicação adicional dos LIs é em sensores químicos ou fases estacionais de colunas de cromatografia gasosa. Os LIs foram relatados com sucesso na condução de sensores poliméricos, sensores amperométricos, sensores ópticos e em colunas capilares como fase estacionária polar (WASILEWSKI; GĘBICKI; KAMYSZ, 2017).

Embora os LIs sejam relatados em diversas aplicações, como pode ser observado no Quadro 1, há muitas questões sobre algumas de suas propriedades que retardam o desenvolvimento em escala industrial. As principais limitações dos LIs estão relacionadas ao custo, que é elevado em comparação aos solventes orgânicos comuns, e à alta viscosidade, que é comparável à de óleos. Quanto à toxicidade e biodegradabilidade, não existe muitos relatos sobre esta limitação e sua relação com meio ambiente. Por fim, o estudo de LIs ainda requer muitos dados científicos quanto às suas propriedades e aplicações específicas, quando comparados com solventes orgânicos comuns (MEKSI; MOUSSA, 2017).

| Área                   | Subárea                                                                                               |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Biológico              | Biocida/ Pesticida, entrega de drogas, dissolução de biomassa                                         |
| Aditivos de Desempenho | Plastificante, agentes dispersantes, lubrificantes, solubilizante                                     |
| Solventes              | Catálise/ síntese, química de microondas, extração, separação/ purificação                            |
| Físico-química         | Transferência de calor, solventes binários e terciários, termodinâmica                                |
| Farmacêutica           | Agente anticâncer, antivírus, terapêutico                                                             |
| Química Analítica      | Eluente, fases estacionárias (CG e HPLC), matriz para espectrometria de massa, solventes de espaço CG |
| Eletroquímica          | Eletro-ótica, painéis solares, propulsor de íon, chapeamento de metal, eletrólito                     |
| Materiais              | Gel/ polímero, cristal líquido, líquido hipergólico, supramolecular                                   |
| Meio Ambiente          | Remoção de metal pesado, tratamento de água poluída                                                   |
| Química verde          | Síntese orgânica, substituição de solventes orgânicos                                                 |
| Outros                 | Fluídos de imersão, termômetro, compressores                                                          |

Quadro 1 Aplicações de LIs em campos industriais.

Fonte: Adaptado de CHO *et al.*, 2021.

## 4 | DISSOLUÇÃO DA CELULOSE COM LÍQUIDOS IÔNICOS

O processo de dissolução de celulose em líquido iônico foi relatado pela primeira vez em 2002 (HERMANUTZ *et al.*, 2019a). O mecanismo de dissolução de celulose em líquidos iônicos é semelhante ao liocel com NMMO, ou seja se dá pelo ,método não derivativo (SHUHUA *et al.*, 2018). A celulose dissolvida em líquido iônico pode ser processada por fiação a úmido ou por fiação a úmido com jato seco, permitindo alterações das propriedades da fibra de acordo com a necessidade desejada. Essas propriedades também são influenciadas pela cristalinidade, grau de polimerização e a estabilidade das ligações de hidrogênio (HERMANUTZ *et al.*, 2019a).

Os LIs têm atraído crescentemente o interesse da comunidade científica, para serem utilizados como solventes na extração e dissolução da celulose e outros componentes orgânicos da biomassa lignocelulósica, pois apresenta uma percepção de “solvente verde” e baixas temperaturas de trabalho (RIELAND; LOVE, 2020). Diversos LIs já foram avaliados e relatados na literatura demonstrando eficiência para dissolver a celulose, como por exemplo, LIs a base de imidazol com fortes ânions de ligação de hidrogênio são capazes de dissolver a celulose sob aquecimento (DISSANAYAKE *et al.*, 2018). No entanto, este processo pode ser melhorado pelo aquecimento em forno de micro-ondas ou ultrassônico, acelerando a extração da celulose (LAN *et al.*, 2011; SWATLOSKI *et al.*, 2002).

Por meio da abordagem de simulação de dinâmica molecular para estudar a dissolução de estruturas de rompimento da celulose nos líquidos iônicos, realizadas pelos pesquisadores Rabideau; Agarwal; Ismail (2013) e Uto; Yamamoto; Kadokawa (2018),

demonstrou-se que há rompimento das ligações de hidrogênios intra e intermoleculares utilizando LI com alto poder de dissolução, como Cloreto de 1-alil-3-metilimidazólio ([AMIM]Cl) e Cloreto de 1-etil-3-metilimidazólio ([EMIM]Cl). Durante a dissolução, os ânions penetram entre os espaços das cadeias moleculares e induzem a quebra das ligações de hidrogênio, formando pares carregados negativamente. Os cátions subsequentemente se orientam entre as cadeias moleculares, devido ao tamanho volumoso dos cátions e estes afastam os pares negativamente carregados, ocorrendo a dispersão das cadeias moleculares e o rompimento dos cristais. Estas simulações sugerem que o ânion e cátion do LI contribuem no processo de rompimento das ligações de hidrogênio. Sendo a capacidade do cátion em penetrar entre as cadeias moleculares essencial na capacidade do LI dissolver a celulose, explicando por que os cátions aromáticos são os mais eficazes. As etapas do processo de dissolução são apresentadas na Figura 3.

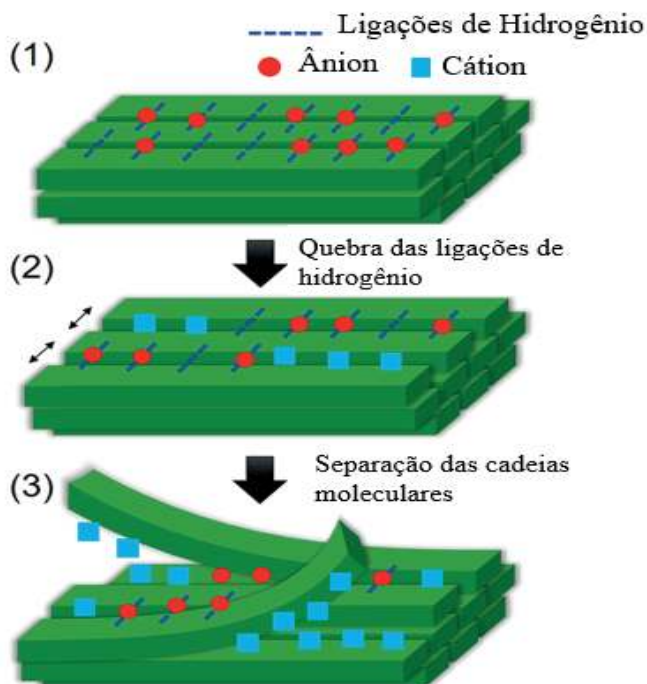


Figura 3 Dissolução de modelos de celulose cristalina em [AMIM]Cl e [EMIM]Cl.

Fonte: Adaptado de Uto; Yamamoto; Kadokawa, 2018 (Copyright © 2017 American Chemical Society).

Estudos relatam que as fibras produzidas a partir da celulose da polpa de eucalipto e de linter de algodão dissolvidas em solvente iônico, apresentam resistência a tração semelhante ao sistema NMMO, mas alongamento inferior. As propriedades das fibras demonstraram boa resistência e retenção de alongamento quando molhado. E morfologicamente a seção transversal circular das fibras produzidas utilizando LI, é

semelhante aos processos de liocel e viscose (REDDY; YANG, 2015).

Pang e colaboradores (2015) obtiveram filmes de celulose regenerada a partir de diferentes fontes de celulose (algodão, bambu, microcristalina e pinus) empregando o líquido iônico acetato de 1-etil-3-metilimidazólio [EMIM]Ac como solvente. Após o processo de dissolução e regeneração, foi demonstrada a transição da celulose I para II. O filme preparado com algodão apresentou uma morfologia mais homogênea e suave em comparação com as demais amostras, além de maior estabilidade térmica.

Andanson *et al.* (2014) relataram que o LI acetato de 1-butil-3- metilimidazólio pode dissolver até 25% (massa/volume) de celulose microcristalina a temperaturas abaixo de 100 °C. Para melhorar a dissolução, foi adicionado o cossolvente sulfóxido de dimetila (DMSO), observando um aumento na dissolução, diminuindo o tempo de processo, mesmo em baixas temperaturas. Portanto, o uso do DMSO melhorou a capacidade de solvatação desse líquido iônico, pois este facilita o transporte de massa pela diminuição da viscosidade dos solventes sem afetar as interações específicas entre cátions e ânions ou entre o líquido iônico e a celulose.

De Silva e Byrne (2017) significant cotton waste is generated. Typically only 30% of pre consumer cotton is recycled. Here we use cotton waste lint to produce regenerated cellulose fibres (RCF) utilizaram resíduos de algodão em pluma como possível matéria-prima para a produção de celulose regenerada, realizando a dissolução com o líquido iônico cloreto de 1-alil-3-metilimidazólio [AMIM]Cl. Foram observadas propriedades de resistência à tração maiores com o uso da fibra de algodão em comparação com a polpa de madeira, devido ao grau de polimerização do resíduo de algodão.

## 5 | REGENERAÇÃO DA CELULOSE

A regeneração da celulose por coagulação com anti-solventes é um importante caminho para a industrialização de materiais celulósicos. Geralmente, a regeneração da celulose ocorre quando a solução de celulose entra em contato com um banho de coagulação (MEDRONHO; LINDMAN, 2015). A morfologia macroscópica da celulose regenerada irá depender de como a solução de celulose entra em contato com o anti-solvente (banho de coagulação). Deste modo, a mistura rápida da solução celulósica com uma corrente do antissolvente resulta na precipitação da celulose em formato de floco em pó. Para obter fibras finas e hastes, a solução de celulose passa por extrusão finalizando em uma solução anti-solvente. Se a solução for posta em uma placa de vidro, a celulose é regenerada em forma de filmes finos. Ainda é possível regenerar a celulose em aerogéis de celulose nanofibrilares, lavando com carvão líquido de dióxido de carbono (WANG; GURAU; ROGERS, 2012).

Independente do solvente utilizado para dissolver a celulose, a regeneração é baseada no mesmo conceito. A solução de celulose é precipitada com a adição em excesso



de um solvente polar como água, etanol, acetona, diclorometano, acetonitrila ou mistura desses (PINKERT *et al.*, 2009). Ao adicionar o anti-solvente, acontece a troca de moléculas de solvente com moléculas não solvente, iniciando a reestruturação das ligações de hidrogênio intra e intermolecular na celulose. A regeneração sucede os mesmos passos da cristalização da celulose I, formando mini-folhas pelas forças van der Waals (a), associação dessas folhas por ligação de hidrogênio em mini-cristais (b) e convergência desses cristais para formar os arranjos cristalinos ou amorfos (c), como demonstrado na Figura 4 (EL SEOUD *et al.*, 2019; MEDRONHO; LINDMAN, 2015; MIYAMOTO *et al.*, 2009).

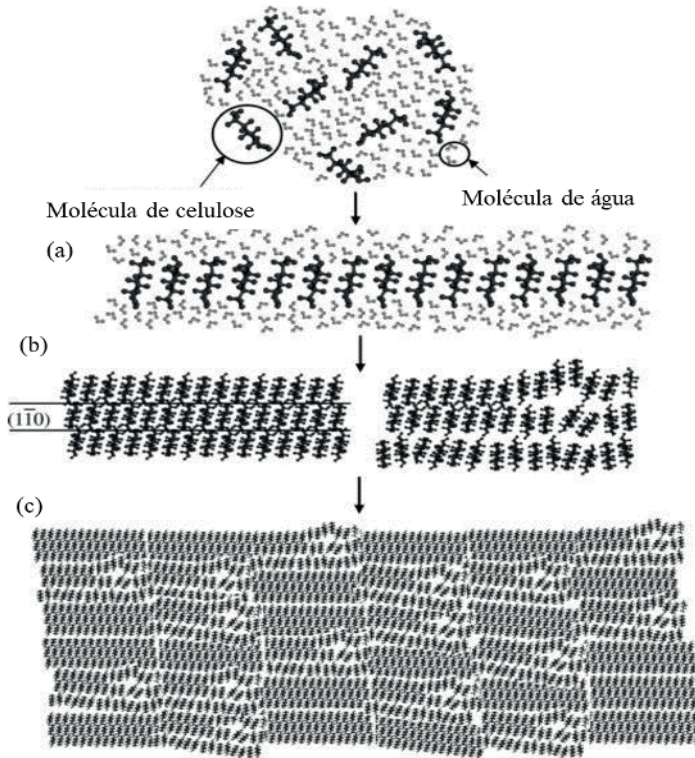


Figura 4 Mecanismo de formação de estruturas durante o processo de regeneração da celulose em solução aquosa

Fonte: Adaptado de Miyamoto *et al.*, 2009.

As propriedades químicas, mecânicas e superficiais da celulose regenerada dependem do tipo de solvente de dissolução e coagulante empregado. Nos sistemas de líquido iônico, a presença de água afeta as propriedades do solvente (MEDRONHO; LINDMAN, 2015). A água é o anti-solvente mais utilizado devido sua maior polaridade em comparação aos álcoois, possibilitando a formação de um maior número de ligações de H entre as cadeias de celulose. A sequência de regeneração de celulose no anti-solvente é de  $H_2O > CH_2OH > CH_3CH_2OH$  (JU *et al.*, 2022).

O mecanismo sugerido para as interações entre água, LI e celulose é que, enquanto a água se difunde dentro da primeira camada de solvatação da celulose, o número de ligações de H entre moléculas de água e celulose aumenta e o número de ligações de H entre o ânion e celulose diminui. Com isto, a primeira camada é deslocada devido a rede de ligações formadas, levando à precipitação da celulose. Os cátions são mantidos na segunda camada de solvatação, devido à forte interações eletrostáticas com os ânions presentes. Neste mecanismo, a separação de fase da celulose em função da água é resultado da competição entre as interações água-ânion, celulose-ânion, celulose-água, celulose-cátion e ânion-cátion (MEDRONHO; LINDMAN, 2015). A remoção do LI da celulose regenerada ocorre por meio de consecutivas lavagens com água, obtendo um teor de LI entre 0,1 – 1 %, permitindo assim a após a purificação a reutilização do LI (VAGT, 2010).

## 6 | CONCLUSÃO

Em conclusão, os líquidos iônicos oferecem um potencial promissor na dissolução e regeneração da celulose, apresentando propriedades únicas e diversas aplicações. Esses compostos representam uma alternativa verde e de baixa temperatura para o processamento da celulose, abrindo caminho para o desenvolvimento de materiais celulósicos com propriedades ajustáveis. Com o avanço do conhecimento e a superação dos desafios, é esperado que os LIs desempenhem um papel importante em processos sustentáveis de produção de materiais celulósicos no futuro.

No entanto, alguns desafios ainda precisam ser superados para o uso em larga escala dos LIs na dissolução e regeneração da celulose. A questão do custo, viscosidade e biodegradabilidade desses compostos é um aspecto que requer atenção e investigação adicional. Além disso, são necessários mais estudos para aprofundar o conhecimento sobre as propriedades específicas dos LIs e suas aplicações em diferentes áreas.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES - Código Financeiro 001), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão de bolsa de estudos e suporte financeiro (Processo nº 2021TR000327).

## REFERÊNCIAS

ANDANSON, Jean Michel *et al.* Understanding the role of co-solvents in the dissolution of cellulose in ionic liquids. *Green Chemistry*, v. 16, n. 5, p. 2528–2538, 2014.

BUSZEWSKA-FORAJTA, Magdalena; MARKUSZEWSKI, Michał J.; KALISZAN, Roman. Free silanols and ionic liquids as their suppressors in liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, v. 1559, p. 17–43, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.04.002>>.

CHEN, J. Synthetic Textile Fibers. In: UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN (Org.). . *Textiles and Fashion*. Austin, TX, USA: Elsevier, 2015. p. 79–95.

CHO, Chul Woong *et al.* Review of the toxic effects of ionic liquids. *Science of the Total Environment*, v. 786, p. 147309, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147309>>.

DE SILVA, Rasike; BYRNE, Nolene. Utilization of cotton waste for regenerated cellulose fibres: Influence of degree of polymerization on mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, v. 174, p. 89–94, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.042>>.

DISSANAYAKE, Niwanthi *et al.* Substituent effects on cellulose dissolution in imidazolium-based ionic liquids. *Cellulose*, v. 25, n. 12, p. 6887–6900, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-018-2055-1>>.

DWORAK, Claudia *et al.* Imidazole-based ionic liquids for free radical photopolymerization. *Designed Monomers and Polymers*, v. 18, n. 3, p. 262–270, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/15685551.2014.999466>>.

EGOROVA, Ksenia S.; GORDEEV, Evgeniy G.; ANANIKOV, Valentine P. Biological Activity of Ionic Liquids and Their Application in Pharmaceuticals and Medicine. *Chemical Reviews*, v. 117, n. 10, p. 7132–7189, 2017.

EL SEOUD, Omar A. *et al.* Cellulose in ionic liquids and alkaline solutions: Advances in the mechanisms of biopolymer dissolution and regeneration. *Polymers*, v. 11, n. 12, p. 1–28, 2019.

ELSAIED, Sherif *et al.* Recycling of Superbase-Based Ionic Liquid Solvents for the Production of Textile-Grade Regenerated Cellulose Fibers in the Lyocell Process. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, v. 8, n. 37, p. 14217–14227, 21 set. 2020. Disponível em: <<https://pubs-acscs.org.ez46.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1021/acssuschemeng.0c05330>>. Acesso em: 4 dez. 2021.

GHANDI, Khashayar. A Review of Ionic Liquids, Their Limits and Applications. *Green and Sustainable Chemistry*, v. 04, n. 01, p. 44–53, 2014.

GREEN, Matthew D.; LONG, Timothy E. Designing imidazole-based ionic liquids and ionic liquid monomers for emerging technologies. *Polymer Reviews*, v. 49, n. 4, p. 291–314, 2009.

HAJIPOUR, Abdol R.; RAFIEE, Fatemeh. Recent Progress in Ionic Liquids and their Applications in Organic Synthesis. *Organic Preparations and Procedures International*, v. 47, n. 4, p. 249–308, 2015.

HERMANUTZ, Frank *et al.* Processing of Cellulose Using Ionic Liquids. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 304, n. 2, p. 1–8, 2019a.

HERMANUTZ, Frank *et al.* Processing of Cellulose Using Ionic Liquids. *Macromolecular Materials and Engineering*, v. 304, n. 2, p. 1800450, fev. 2019b.

HUANG, Kehao; WANG, Yixiang. Recent applications of regenerated cellulose films and hydrogels in food packaging. *Current Opinion in Food Science*, v. 43, p. 7–17, 1 fev. 2022.

JIANG, Xiaoya *et al.* A review on raw materials, commercial production and properties of lyocell fiber. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, v. 5, n. 1, p. 16–25, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.002>>.

JU, Zhaoyang *et al.* Theoretical Mechanism on the Cellulose Regeneration from a Cellulose/EmimOAc Mixture in Anti-Solvents. *Materials*, v. 15, n. 3, p. 1–12, 2022.

KHRAISHEH, Majeda *et al.* Ionic liquids application for wastewater treatment and biofuel production: A mini review. *Journal of Molecular Liquids*, v. 337, p. 116421, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116421>>.

LAN, Wu *et al.* Ultrasound-assisted dissolution of cellulose in ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*, v. 86, n. 2, p. 672–677, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.013>>.

LETHESH, Kallidanthiyil Chellappan *et al.* Highly efficient cellulose dissolution by alkaline ionic liquids. *Carbohydrate Polymers*, v. 229, n. November 2019, p. 115594, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115594>>.

MARCINKOWSKA, Renata *et al.* Application of ionic liquids in microextraction techniques: Current trends and future perspectives. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, v. 119, 2019.

MEDRONHO, Bruno; LINDMAN, Björn. Brief overview on cellulose dissolution/regeneration interactions and mechanisms. *Advances in Colloid and Interface Science*, v. 222, p. 502–508, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2014.05.004>>.

MEKSI, Nizar; MOUSSA, Ali. A review of progress in the ecological application of ionic liquids in textile processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 105–126, 10 set. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.066>>.

MENDES, Inês S.F.; PRATES, António; EVTUGUIN, Dmitry V. Production of rayon fibres from cellulosic pulps: State of the art and current developments. *Carbohydrate Polymers*, v. 273, n. July, 2021.

MIYAMOTO, Hitomi *et al.* Structural reorganization of molecular sheets derived from cellulose II by molecular dynamics simulations. *Carbohydrate Research*, v. 344, n. 9, p. 1085–1094, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carres.2009.03.014>>.

MOHAMMAD FAUZI, Ahmad Hafidz; AMIN, Nor Aishah Saidina. An overview of ionic liquids as solvents in biodiesel synthesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 8, p. 5770–5786, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.022>>.

NASIRPOUR, Niloofar; MOHAMMADPOURFARD, Mousa; ZEINALI HERIS, Saeed. Ionic liquids: Promising compounds for sustainable chemical processes and applications. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 160, n. Lc, p. 264–300, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.06.006>>.

NEGI, Sangeeta; PANDEY, Ajay Kumar. Ionic Liquid Pretreatment. *Pretreatment of Biomass: Processes and Technologies*, p. 137–155, 2015.

NOORHISHAM, Nur Athirah *et al.* Characterisation techniques for analysis of imidazolium-based ionic liquids and application in polymer preparation: A review. *Journal of Molecular Liquids*, v. 326, p. 115340, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115340>>.

OZOKWELU, Dickson *et al.* *Preparation and Characterization of Ionic Liquids*. [S.l.: s.n.], 2017.

PAL, S.; MUKHERJEE, A.; GHOSH, P. Imidazolium-based ionic liquid–assisted processing of natural biopolymers containing amine/amide functionalities for sustainable fiber production. *Materials Today Sustainability*, v. 14, p. 100082, out. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100082>>.

PANG, Jinhui *et al.* Comparison of physical properties of regenerated cellulose films fabricated with different cellulose feedstocks in ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*, v. 121, p. 71–78, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.067>>.

PINKERT, André *et al.* Ionic liquids and their interaction with cellulose. *Chemical Reviews*, v. 109, n. 12, p. 6712–6728, 2009.

PLECHKOVA, Natalia V.; SEDDON, Kenneth R. Applications of ionic liquids in the chemical industry. *Chemical Society Reviews*, v. 37, n. 1, p. 123–150, 2008.

RABIDEAU, Brooks D.; AGARWAL, Animesh; ISMAIL, Ahmed E. Observed mechanism for the breakup of small bundles of cellulose Ia and Ib in ionic liquids from molecular dynamics simulations. *Journal of Physical Chemistry B*, v. 117, n. 13, p. 3469–3479, 2013.

REDDY, Narendra; YANG, Yiqi. *Introduction to Regenerated Cellulose Fibers*. [S.l.: s.n.], 2015.

RIELAND, Julie M.; LOVE, Brian J. Ionic liquids: A milestone on the pathway to greener recycling of cellulose from biomass. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 155, n. September 2019, p. 104678, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104678>>.

SAYYED, Anwar J.; DESHMUKH, Niteen A.; PINJARI, Dipak V. A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. *Cellulose*, v. 26, n. 5, p. 2913–2940, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>>.

SCHROEDER, Christian. Chapter 1 General review of ionic liquids. *Analytical Applications of Ionic Liquids*, p. 1–13, 2016. Disponível em: <[https://doi.org/10.1142/9781786340726\\_0001](https://doi.org/10.1142/9781786340726_0001)>.

SHAMSHINA, Julia L.; ZAVGORODNYA, Oleksandra; ROGERS, Robin D. *Ionic liquids*. 3. ed. [S.l.]: Elsevier Inc., 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13931-9>>.

SHUHUA, Wang *et al.* Recycling of Cotton Fibers Separated from the Waste Blend Fabric Recycling of Cotton Fibers Separated from the Waste Blend Fabric. *Journal of Natural Fibers*, v. 00, n. 00, p. 1–12, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1503130>>.

SINGH, Poonam *et al.* From Cellulose Dissolution and Regeneration to Added Value Applications — Synergism Between Molecular Understanding and Material Development. In: INTECHOPEN (Org.). *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*. Londres, Reino Unido: InTech, 2015. p. 1–44. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/cellulose-fundamental-aspects-and-current-trends/from-cellulose-dissolution-and-regeneration-to-added-value-applications-synergism-between-molecular->>.

SWATLOSKI, Richard P. *et al.* Dissolution of cellose with ionic liquids. *Journal of the American Chemical Society*, v. 124, n. 18, p. 4974–4975, 2002.

UTO, Takuya; YAMAMOTO, Kazuya; KADOKAWA, Jun Ichi. Cellulose Crystal Dissolution in Imidazolium-Based Ionic Liquids: A Theoretical Study. *Journal of Physical Chemistry B*, v. 122, n. 1, p. 258–266, 2018.

VAGT, Uwe. Cellulose Dissolution and Processing with Ionic Liquids. *Handbook of Green Chemistry*, v. 6, p. 123–136, 2010.

VERMA, Chandrabhan *et al.* Dissolution of cellulose in ionic liquids and their mixed cosolvents: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, v. 13, n. April, p. 100162, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100162>>.

WANG, Hui; GURAU, Gabriela; ROGERS, Robin D. Ionic liquid processing of cellulose. *Chemical Society Reviews*, v. 41, n. 4, p. 1519–1537, 2012.

WASILEWSKI, Tomasz; GĘBICKI, Jacek; KAMYSZ, Wojciech. Prospects of ionic liquids application in electronic and bioelectronic nose instruments. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, v. 93, p. 23–36, 2017.

WOODINGS, C. *Regenerated Cellulose Fibres*. 1. ed. [S.l: s.n.], 2001.

WU, Kai *et al.* Green Production of Regenerated Cellulose/Boron Nitride Nanosheet Textiles for Static and Dynamic Personal Cooling. *ACS Applied Materials and Interfaces*, v. 11, n. 43, p. 40685–40693, 30 out. 2019. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.9b15612>>. Acesso em: 4 dez. 2021.

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes à corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**GÉSSICA KATALYNE BILCATI** - Professora do Curso de Engenharia Civil na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR - Campus Guarapuava). Possui Graduação (2012) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA), mestrado (2015) em Engenharia Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR - Campus Curitiba) e doutorado (2023) em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Desenvolve pesquisas na área de Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: desempenho e durabilidade de sistemas cimentícios com adição de materiais celulósicos, painéis cimento-madeira, comportamento reológico e técnicas de caracterização de argamassas.

## A

Automação 1, 24, 25, 26, 27, 29, 36, 38, 39, 42, 50

## B

Bancadas didáticas 24, 25, 31, 36, 38

Biodigestor 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80

Biogás 69, 70, 71, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80

Biomassa 69, 78, 134, 138, 139

## C

CLP 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 38, 39, 44, 45

Controle de motores 24

Controle PI 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 49

## D

Dimensionamento 69, 74, 77

## E

Energia 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 22, 23, 36, 75, 78, 79, 80, 85, 86, 122, 135

## F

Fotovoltaica 1, 3, 4, 13, 22

## M

Microgeração 3, 4, 6, 13

## P

Padrões de produção 40

Patologia 97

## R

Resíduo alimentar 69, 77

## S

Sanidade 97, 103

Solar 3, 4, 5, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

## T

Tanques-rede 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105

Temperatura 40, 41

Tilapicultura 97, 98, 102, 103, 104



**V**

Viabilidade 1, 3, 4, 5, 12, 13, 22, 71, 78, 79, 91

# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 3



🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

📷 @atenaeditora

📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# ENGENHARIAS:

qualidade, produtividade  
e inovação tecnológica 3



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

