

# Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

---



Maria Elanny Damasceno Silva  
(Organizadora)

# Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

---



Maria Elanny Damasceno Silva  
(Organizadora)

### **Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

### **Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

### **Bibliotecária**

Janaina Ramos

### **Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

### **Imagens da Capa**

Shutterstock

### **Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

### **Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás

Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Maria Elanny Damasceno Silva

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

S941 Subtemas e enfoques na sustentabilidade 2 / Organizadora  
Maria Elanny Damasceno Silva. – Ponta Grossa - PR:  
Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-659-1

DOI 10.22533/at.ed.591201012

1. Sustentabilidade. I. Silva, Maria Elanny Damasceno  
(Organizadora). II. Título.

CDD 363.7

**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.

## APRESENTAÇÃO

O livro *“Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2”* contém 15 capítulos que abordam pesquisas oriundas de subtemas que enfatizam a temática da sustentabilidade e resoluções de problemas ambientais diversos.

Inicia-se com o importante diagnóstico propício à gestão pública para avaliar os motivos das migrações pendulares de trabalhadores de Goiás. Em seguida, tem-se a abordagem da Extrafiscalidade como instrumento do desenvolvimento socioeconômico à sustentabilidade. A certificação de eficiência energética em edificações possibilita ao consumidor a melhor tomada de decisão no momento da compra do imóvel.

Apresentam-se estudos com uso do método Monte Carlo em uma instalação de sistema fotovoltaico conectado à rede; modelagem e simulação de sistema fotovoltaico trifásico conectado ao sistema elétrico, bem como o gerenciamento de redes de energia inteligentes por modelo de redes modulares expansíveis de instrumentação. Uma avaliação numérica e experimental é divulgada na utilização de geração de vapor para saunas.

É apresentado o cenário de geração de resíduos industriais nos anos de 2014 e 2015 na Serra Gaúcha. O descarte de óleo residual de fritura em São Paulo é analisado com viés de construção de política ambiental integrada para destinação correta do resíduo. Em outra pesquisa é evidenciado a reciclagem de óleos comestíveis como matéria prima em um Laboratório universitário de Gastronomia.

Problemas ambientais em rios é tema de revisão sistemática que visa conhecer os contaminantes mais comuns e o monitoramento das águas do rio São Francisco. O lodo das Estações de Tratamentos de Águas é averiguado quanto a destinação em aterro sanitário ou compostagem. A Pegada Hídrica Verde é utilizada em uma fazenda paraense para produção de pastagem para pecuária.

O sistema consorciado de produção orgânica de milho, feijão e mandioca é utilizada como auxiliar juntamente com outras técnicas de cultivo. E por fim, tem-se o estudo da criação de um cosmético natural para tratar melasma.

Excelente leitura.

Maria Elanny Damasceno Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DIAGNÓSTICO DAS MIGRAÇÕES PENDULARES DE TRABALHADORES ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MORRINHOS, RIO QUENTE E CALDAS NOVAS EM GOIÁS	
Déborah Yara de Castro Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5912010121	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
A EXTRAFISCALIDADE COMO INSTRUMENTO INDUTOR DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	
Luciana Oliveira de Souza	
André Alves Portella	
DOI 10.22533/at.ed.5912010122	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>27</b>
IMPORTÂNCIA E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, O SUCESSO EUROPEU E AS PRÓXIMAS ETAPAS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES	
Jaime Francisco de Sousa Resende	
Andrea Lucia Teixeira Charbel	
Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção	
DOI 10.22533/at.ed.5912010123	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>41</b>
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADA À INSTALAÇÃO DE UM SFCR	
Bruno Polydoro Cascaes	
Letícia Jenisch Rodrigues	
Paulo Smith Schneider	
DOI 10.22533/at.ed.5912010124	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>52</b>
MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM PSCAD DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LARGA ESCALA	
Alysson Augusto Pereira Machado	
Nicole Campos Foureaux	
Igor Amariz Pires	
Sidelmo Magalhães Silva	
Braz de Jesus Cardoso Filho	
José Antônio de Souza Brito	
DOI 10.22533/at.ed.5912010125	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
GERENCIAMENTO DE REDES DE ENERGIA INTELIGENTES (REI) EMPREGANDO ANÁLISE POR MODELO PREDITIVO EMPREGANDO REDES MODULARES	

## EXPANSÍVEIS DE INSTRUMENTAÇÃO

Elói Fonseca  
Diego Henrique do Amaral  
Bruna Malaguti  
Gabriel de Souza Cordeiro  
Felipe Emanuel Sales  
Victor Hugo Paezane dos Anjos  
Naiara de Souza Lima

**DOI 10.22533/at.ed.5912010126**

## **CAPÍTULO 7..... 80**

**ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE COLETORES EVACUADOS DO TIPO WATER-IN-GLASS PARA GERAÇÃO DE VAPOR PARA USO EM SAUNAS**

Maryna Fernanda Ferreira Melo  
Paulo Fernando Figueiredo Maciel  
César Augusto Fernandes de Araújo Filho  
Edson Alves Souza

**DOI 10.22533/at.ed.5912010127**

## **CAPÍTULO 8..... 95**

**A SERRA GAÚCHA EM TONELADAS – GERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NOS ANOS DE 2014 E 2015**

Francine Zanatta  
Henrique Di Domenico Ziero  
Thiago de Castilho Bertani  
Clódis de Oliveira Andrades Filho  
Rejane Maria Candiota Tubino  
Ana Carolina Tramontina

**DOI 10.22533/at.ed.5912010128**

## **CAPÍTULO 9..... 103**

**ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO ESPACIAL DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SP**

Gustavo Morini Ferreira Gândara  
Magda Adelaide Lombardo

**DOI 10.22533/at.ed.5912010129**

## **CAPÍTULO 10.....114**

**RECICLAGEM DE ÓLEOS COMESTÍVEIS: CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS DE UM LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO DE GASTRONOMIA**

Gerson Breno Constantino de Sousa  
Carlos de Araújo de Farrapeira Neto  
Iury de Melo Venancio  
Camila Santiago Martins Bernardini  
Leonardo Schramm Feitosa  
Ana Vitória Gadelha Freitas

Ingrid Katelyn Costa Barroso  
Rui Pedro Cordeiro Abreu de Oliveira  
André Luís Oliveira Cavaleiro de Macedo  
Danielle Sousa Lima  
Raquel Jucá de Moraes Sales

**DOI 10.22533/at.ed.59120101210**

**CAPÍTULO 11..... 126**

**METAIS PESADOS, PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS EM UM TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Carla Linardi Mendes de Souza  
Milena da Cruz Costa  
Alexsandra Iarlen Cabral Cruz  
Juliana dos Santos Lima  
Madson de Godoi Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.59120101211**

**CAPÍTULO 12..... 139**

**LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: COMPOSTAGEM OU DESTINAÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO?**

Gislayne de Araujo Bitencourt  
Regina Teresa Rosim Monteiro

**DOI 10.22533/at.ed.59120101212**

**CAPÍTULO 13..... 149**

**PEGADA HÍDRICA VERDE DA CADEIA PRODUTIVA DA PECUÁRIA EM UMA FAZENDA NO MUNICÍPIO DE ALENQUER, REGIÃO OESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA, BRASIL**

Ilze Caroline Gois Braga Pedroso  
Ildson de Souza Tenório  
Lucas Meireles de Sousa  
Urandi João Rodrigues Junior

**DOI 10.22533/at.ed.59120101213**

**CAPÍTULO 14..... 159**

**SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO DE MILHO, FEIJÃO E MANDIOCA CONSORCIADOS EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

João Paulo Apolari  
Gislayne de Araujo Bitencourt

**DOI 10.22533/at.ed.59120101214**

**CAPÍTULO 15..... 170**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FORMULAÇÃO COSMÉTICA CONTENDO SUBSTÂNCIAS ATIVAS NATURAIS PARA O TRATAMENTO DE MELASMA**

Micaela dos Santos Fernandes Lima  
Ariana Ferrari  
Daniele Fernanda Felipe

**DOI 10.22533/at.ed.59120101215**

<b>SOBRE A ORGANIZADORA.....</b>	<b>178</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>179</b>

# CAPÍTULO 1

## DIAGNÓSTICO DAS MIGRAÇÕES PENDULARES DE TRABALHADORES ENTRE OS MUNICÍPIOS DE MORRINHOS, RIO QUENTE E CALDAS NOVAS EM GOIÁS

Data de aceite: 01/12/2020

**Déborah Yara de Castro Silva**

Universidade Estadual de Goiás, Campus Morrinhos  
<http://lattes.cnpq.br/5611999966953374>

**RESUMO:** O espaço urbano contemporâneo está revestido por uma crescente complexidade e por múltiplos aspectos, caracterizando-se por processos contraditórios e conflitos inerentes, marcado por transformações nas relações sociais e processos produtivos em escala mundial. A identificação e a delimitação de aglomerações de população no país têm sido objeto de estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - desde a década de 1960, quando o fenômeno da urbanização se intensificou e assumiu, ao longo dos anos, formas cada vez mais complexas. O estudo da dinâmica urbana com base nos movimentos pendulares está vinculado a uma das linhas tradicionais de pesquisa em Geografia Urbana, que é da identificação de áreas de influência ou regiões funcionais, sendo o movimento diário de pessoas que se deslocam de um município a outro para desenvolver suas atividades cotidianas (trabalhar ou estudar), implicando a troca de pessoas (trabalhadores, consumidores, dinheiro) entre as cidades a partir do ir e vir diário. Este artigo realiza uma análise sobre os movimentos pendulares de trabalhadores entre as cidades de Morrinhos, Caldas Novas e Rio Quente, todas localizadas no sul de Goiás.

**PALAVRAS-CHAVE:** Morrinhos (GO); Caldas Novas (GO); Rio Quente (GO); Migrações Pendulares.

**ABSTRACT:** The contemporary urban space is coated with increasing complexity and multiple aspects, characterized by contradictory processes and inherent conflicts, marked by transformations in social relations and production processes on a worldwide scale. The identification and delimitation of population agglomerations in the country have been the object of study by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE - since the 1960s, when the phenomenon of urbanization intensified and took on, over the years, increasingly forms more complex. The study of urban dynamics based on commuting is linked to one of the traditional lines of research in Urban Geography, which is the identification of areas of influence or functional regions, with the daily movement of people moving from one municipality to another to develop their daily activities (work or study), implying the exchange of people (workers, consumers, money) between cities from the daily commute. This article analyzes the commuting movements of workers between the cities of Morrinhos, Caldas Novas and Rio Quente, all located in the south of Goiás.

**KEYWORDS:** Morrinhos (GO); Caldas Novas (GO); Rio Quente (GO); Commuting Migrations.

### INTRODUÇÃO

O espaço urbano contemporâneo está revestido por uma crescente complexidade e por múltiplos aspectos, caracterizando-se

por processos contraditórios e conflitos inerentes, marcado por transformações nas relações sociais e processos produtivos em escala mundial (Antico, 2004). A identificação e a delimitação de aglomerações de população no país têm sido objeto de estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - desde a década de 1960, quando o fenômeno da urbanização se intensificou e assumiu, ao longo dos anos, formas cada vez mais complexas (IBGE, 2015).

O estudo da dinâmica urbana com base nos movimentos pendulares está vinculado a uma das linhas tradicionais de pesquisa em Geografia Urbana, que é da identificação de áreas de influência ou regiões funcionais (Moura, Castello Branco, & Firkowski, 2005), sendo o movimento diário de pessoas que se deslocam de um município a outro para desenvolver suas atividades cotidianas (trabalhar ou estudar), implicando a troca de pessoas (trabalhadores, consumidores, dinheiro) entre as cidades a partir do ir e vir diário (Freitas, 2009). A pendularidade tem sido utilizada para ajudar a mostrar a desconexão entre casa e trabalho, uma das tendências da organização das aglomerações contemporâneas (ASCHER, 1995).

O conceito de “migração pendular” bastante utilizado pela Geografia, já aparecia no livro de Beajeu-Garnier (1971), chamando-o de movimento rítmico cotidiano e refere-se ao vaivém (*navettes* no francês), semelhante à oscilação de um pêndulo, daí seu nome mais comum em português (pendular). Tal fenômeno, antes observado apenas nas grandes metrópoles, com o processo de urbanização expande-se por todo território, sem distinção do tamanho dos aglomerados urbanos. Para Reis (2006), as recentes alterações na pendularidade estão intimamente ligadas às transformações na forma urbana e nas instituições, numa regionalização do cotidiano que acompanha a dispersão de atividades industriais, de lazer, comerciais e de empreendimentos imobiliários.

Conforme relatado por Frey e Speare Júnior (1995, p. 139),

Áreas econômicas regionais são agora muito mais extensas que áreas de mercado local e espaços de atividade local. Através dos anos, a expansão das áreas existentes e a criação de novas áreas de baixa densidade conduziu a diversidade de configurações físicas para um espaço de atividade diária dos residentes da comunidade.

A migração pendular, ou diária, corresponde a um fenômeno urbano que incide de maneira decisiva no funcionamento cotidiano e na projeção estratégica das cidades (Moura et al., 2005). Nesse sentido, entender tal fenômeno nos ajuda a compreender as dinâmicas regionais, que concentram diferentes setores produtivos e que em razão de fatores diversos, podem solicitar mão de obra que não são especificamente do local.

Parafraseando Santos (2005, p. 57) “[...] a divisão social do trabalho ampliada, que leva a uma divisão territorial do trabalho ampliada, soma-se ao fato

de as diferenciações regionais do trabalho também se ampliam”.

Cunha (2006) ressalta que a migração pendular pode ser observada sobre dois pontos de vista. Como fenômeno decorrente do descompasso entre os locais de moradia e de trabalho ou estudo, sendo fruto do processo de expansão de grandes centros, ou ainda, como um elemento que pode introduzir novas formas de carência e riscos para os indivíduos, traduzidos pelo aumento no tempo de deslocamento, pela diminuição das horas de descanso e lazer, pelos riscos intrínsecos aos meios de transportes, entre outros.

É preciso compreender a descontinuidade social e econômica implícita nesse processo. Estudos elaborados por Hogan (1992) demonstram o significativo descompromisso que habitantes pendulares possuem com seu local de trabalho, pelo fato de ali permanecerem de forma efêmera, não se envolvendo em reivindicações ou lutas políticas por melhorias das condições ambientais. Jorlan e Ojima (2014) ressaltam que muitas pessoas escolhem locais de moradia em cidades ou bairros devido à sua acessibilidade, sem necessariamente estabelecer vínculos com o lugar.

Diante do exposto e das particularidades observadas na economia e respectivo mercado de trabalho entre três municípios do sul do estado de Goiás que compõem a Microrregião Meia Ponte, Morrinhos, Caldas Novas e Rio Quente procurou-se investigar as características da migração pendular que ocorrem entre eles. O primeiro se destaca na produção agropecuária e agroindustrial devido ao predomínio de topografia relativamente plana sobre solos fisicamente bem desenvolvidos, amplamente utilizados para a produção de grãos (soja, milho, feijão, sorgo), tomate, laranja, cana de açúcar, pecuária leiteira e de corte.

Caldas Novas e Rio Quente se destacam no sul goiano devido ao complexo hoteleiro hidrotermal que atrai turistas nacionais e internacionais durante todos os meses do ano, com maior intensidade durante feriados e férias escolares do país.

Esses dois municípios não possuem toda a mão de obra necessária ao atendimento das atividades do turismo, principalmente durante as altas temporadas. Por isso, necessitam contratar trabalhadores de outros municípios goianos que se deslocam diariamente para essas cidades para venderem sua força de trabalho e atender o número cada vez maior de turistas.

A realização desta pesquisa, justifica-se diante da necessidade em entender a mobilidade espacial da população (expressa neste caso pelos fluxos que envolvem a população economicamente ativa nos setores de lazer/turismo e também na agroindústria) entre moradores de Morrinhos e cidades circunvizinhas, fornecendo assim, subsídios capazes de orientar uma melhor elaboração e adequação de políticas públicas consistentes para o desenvolvimento socioeconômico da microrregião em questão.

## OBJETIVO

Compreender a migração pendular entre trabalhadores que residem em Morrinhos e que se deslocam diariamente para os municípios de Caldas Novas e Rio Quente para venderem sua força de trabalho nos setores econômicos ligados ao lazer/turismo, identificando quais os reflexos que a mobilidade gera no cotidiano pessoal, social e do meio ambiente do trabalho.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi elaborada a partir do levantamento e revisão de referencial teórico sobre o tema proposto, visando melhor compreensão sobre as migrações pendulares e mobilidade populacional, ressaltando a escassez de estudos nesta perspectiva em pequenas cidades, como apresentado neste estudo. Realizou-se também a coleta de dados quantitativos e qualitativos em sites pertinentes e com funcionários das empresas empregadoras e com os funcionários que praticam a migração pendular diariamente.

Foi realizado levantamento de dados quantitativos junto ao IBGE e outras fontes pertinentes considerando as variáveis econômicas e socioculturais do município de Morrinhos, que tem relação direta com os municípios circunvizinhos de Caldas Novas e Rio Quente procurando compreender o movimento pendular dos trabalhadores diariamente entre essas cidades.

Foram entrevistados 31 moradores de Morrinhos com idade entre 18 e 59 anos que realizam movimento pendular para trabalhar em Caldas Novas e Rio Quente buscando a compreensão do referido movimento.

A abordagem qualitativa do assunto se evidenciou como sendo adequada para a análise de pesquisa descritiva a respeito das migrações pendulares, abrangendo as causas e consequências deste fenômeno, delineando uma revisão bibliográfica sobre o tema.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dada sua importância no gerenciamento compartilhado entre cidades circunvizinhas com movimento pendular, no Censo de 2010, o IBGE intensificou suas pesquisas sobre o arranjo populacional e suas vertentes. Segundo o Censo de 2010, em todo o país 7,4 milhões de pessoas se deslocavam entre os municípios dos arranjos populacionais para estudar ou trabalhar.

### A área em estudo

Os municípios que fazem parte deste estudo, estão geograficamente situados na Região de Planejamento Sul Goiano, mais especificamente na Microrregião Meia

Ponte do estado de Goiás. Morrinhos, Caldas Novas e Rio Quente (Figura 1), são municípios que contribuem de modo significativo para a dinâmica econômica regional considerando a relevância neste contexto das atividades ligadas ao turismo.

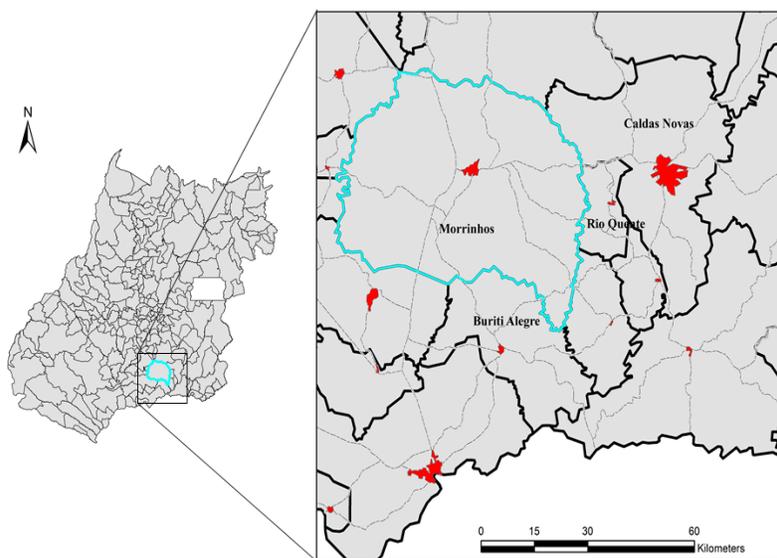


Figura 1 – Localização dos municípios estudados no estado de Goiás

Fonte: IBGE, 2010. Organização: Déborah Castro e Kelly Souza

As cidades de Morrinhos, Caldas Novas e Rio Quente estão interligadas pela rodovia estadual GO-213, pavimentada, com pequenos trechos duplicados e previsão do término da duplicação em dois anos. Estão relativamente próximas umas das outras, com pequeno tempo médio de deslocamento entre ambas, utilizando transporte coletivo (Tabela 1).

Cidade	Distância até Morrinhos - Km	Principais acessos	Tempo estimado de viagem de ônibus/ minutos
Caldas Novas	59.2	GO - 213	57
Rio Quente	50	GO - 213	45

Tabela 1 - Distância entre Morrinhos, Caldas Novas e Rio Quente.

FONTE: Google Mapas (<https://maps.google.com.br/>)

O tempo de deslocamento entre essas cidades dependem do meio de

transporte: carro próprio, motocicleta, ônibus interestadual ou específicos das empresas, bem como, das condições da rodovia estadual que geralmente fica com a qualidade comprometida durante o período chuvoso (Figura 2a e Figura 2b). Contudo, esse problema deve ser melhorado após o término da duplicação da estrada, que teve seu início em 2014. No momento, estão prontos aproximadamente 5 km na saída de Morrinhos para a cidade de Rio Quente e em torno de 5 km na chegada em Caldas Novas. Outros trechos intermediários estão em construção.



Figura 2a – Rodovia estadual GO-213 – problemas na pista entre Morrinhos e Caldas Novas, fevereiro de 2016.



Figura 2b - Rodovia estadual GO-213 – problemas na pista entre Morrinhos e Caldas Novas, próximo a Marcelândia, fevereiro de 2016.

Fonte: <http://correiosulgoiano.com.br/site/jn/>

### Breve caracterização da economia do município de Morrinhos

Situado a 129 quilômetros da capital do estado Goiânia, Morrinhos é um município dinâmico economicamente devido as atividades relacionadas à agricultura e pecuária, destacando-se a pecuária leiteira e os cultivos de soja, milho, sorgo, cana-de-açúcar, tomate industrial, entre outros cultivos. O município possui 45.000 habitantes (IBGE, 2016). Existem importantes armazéns de grãos, agroindústrias em seu polo industrial (Distrito Agroindustrial de Morrinhos – DAIMO) e outras unidades no entorno do espaço urbano que processam produtos agrícolas: soja, milho, cana-de-açúcar, tomate e derivados do leite, bem como, galpões de cria, engorda e abatedouros de frangos. Destaca-se ainda na área do Ensino Médio e Superior com unidades das instituições: Universidade Estadual de Goiás e Instituto Federal Goiano, Câmpus Morrinhos, que ofertam Graduação em várias áreas, Pós-Graduação Lato Sensu e Stricto Sensu: Mestrado Acadêmico e Profissional.

A cidade surgiu em uma província agrícola, com população predominantemente rural. A sua constituição foi sendo marcada por essa realidade, vivendo, assim, basicamente da produção agropecuária e do comércio local de seus habitantes (IBGE, 2015).

Atualmente a maior vocação econômica de Morrinhos está centrada nas atividades agropecuárias. Em 2015, o rebanho bovino total era um dos maiores da Microrregião Meia Ponte, com 288.500 animais, com mais de 34.000 vacas em lactação e 30.000 suínos (Tabela 2), dentre outros animais em menor quantidade (IBGE, 2015).

Animais	Quantidade (cabeças)
Bovinos efetivo total	288.500
Vacas hordenhadas	34.620
Suínos total	30.000

Tabela 2. Pecuária em Morrinhos, 2015

Fonte: IBGE (2017).

Possui uma agricultura relativamente bem desenvolvida. Com relação a área plantada destacou-se em 2015 os cultivos de soja, cana de açúcar, milho, sorgo, tomate, girassol, feijão, algodão e outros (IBGE, 2015) (Tabela 3). Em geral esses cultivos apresentam elevada produtividade em Morrinhos devido as condições favoráveis do solo, do clima local e também pela adoção de inovações tecnológicas e insumos químicos, embora, alguns poucos agricultores ainda mantenham métodos e processos tradicionais.

Produção	Área plantada (ha)	Produção (toneladas)
Soja	25.000	67.500
Cana de açúcar	17.000	1.643.492
Milho	10.800	38.680
Sorgo	3.000	7.200
Tomate	1.402	112.160
Girassol	1.000	1.500
Feijão	850	2.040
Algodão	620	2.883

Tabela 3 - Principais produtos cultivados em Morrinhos, 2015

Fonte: IBGE (2017).

Além da agropecuária, a economia morrinhense é constituída pelo setor empresarial com cerca de 1.215 empresas atuantes, e os serviços financeiros com cinco agências bancárias (IBGE, 2014).

No setor industrial conta com diversas indústrias de pequeno porte, principalmente na área de laticínios e conservas. Principalmente entre os anos de 1997 e 2000, houve uma ampliação considerável no número de empresas que se instalaram no município, já que o município conta com um Parque Industrial coordenado pelo Governo Estadual (Distrito Agroindustrial de Morrinhos – DAIMO).

### **Breve caracterização da economia do município de Rio Quente**

Emancipada em 1988, a cidade é conhecida em todo o Brasil por abrigar o complexo turístico do Rio Quente Resorts (antes conhecido como Pousada do Rio Quente Resorts). Possui 3.931 habitantes (IBGE, 2016). A cidade possui este nome em alusão ao rio quente que nasce neste município e percorre uma extensão de aproximadamente 22 km, até desembocar no rio Piracanjuba. “Suas águas tem propriedade terapêutica em virtude de ser constituído de sais, bicarbonato e cálcio, magnésio e potássio”, sendo considerado um dos únicos rios de água quente que corre a céu aberto, no mundo, com temperatura média de aproximadamente 37° C (Souza, 2004).

O município que antes era distrito de Caldas Novas tem sua fonte de recursos quase que na totalidade vinda do complexo turístico do Rio Quente Resorts. É um importante polo turístico do estado de Goiás, sendo visitado anualmente, por mais de 1 milhão e 300 mil pessoas entre brasileiros e estrangeiros (Prefeitura Municipal de Rio Quente, 2017).

O complexo turístico possui aproximadamente 1.600 funcionários (REDAÇÃO IG,2017), sendo que mais de 95% são residentes da região das Águas Quentes, ou seja, dos municípios do entorno Caldas Novas, Morrinhos e Rio Quente (Souza, 2004).

### **Breve caracterização da economia do município de Caldas Novas**

Em Caldas Novas, município localizado a 190 km da capital, Goiânia, possui 83.220 habitantes (IBGE, 2016). Ocorreu um tipo de ocupação peculiar na região Centro-Oeste. A partir do início da década de 1970 inicia-se um processo de investimentos que fortalece, qualifica e profissionaliza a atividade turística da cidade, processo que se manifestada principalmente através da ampliação da rede hoteleira, de clubes e parques aquáticos (BELISÁRIO, 2006). De acordo com Belisário (2016, p 125):

Caldas Novas, desde o século XIX, foi se desenvolvendo lentamente tendo paralelamente à agropecuária, uma atividade turística incipiente e amadora na qual os visitantes buscavam os banhos nas águas quentes como forma de tratamento para alguns tipos de doenças. Deste modo, a cidade foi ganhando conotação de balneário de saúde

que acolhia os visitantes em suas pequenas pensões familiares. O primeiro balneário público de Caldas Novas foi construído somente em 1920, período no qual já existiam alguns hotéis como o Hotel Avenida.

O Turismo é a principal atividade econômica do município sucedido pelos setores da agropecuária e mineração (SECRETARIA MUNICIPAL DE TURISMO E CULTURA DE CALDAS NOVAS, 2003). O município, por meio de políticas espaciais, conseguiu transformar seus mananciais hidrotermais em base para a estruturação de uma cidade para o turismo de lazer (Borges, 2005).

Em 2013, foram cadastrados na Agência Goiana de Turismo, 202 estabelecimentos de meio de hospedagem, inclusive condomínios de lazer, 15.632 unidades habitacionais com fins de lazer e 64.359 leitos. Todas as informações cadastradas são no Pool de Caldas Novas, ou seja, apartamentos disponíveis para turistas. Comparado com 2006, os números atuais apresentam crescimento de 405% em meio de hospedagem, 372% em Unidades Habitacionais e 576% em número de leitos. Possui também cinco Atrativos Naturais (Agência Goiana de Turismo, 2013)

A cidade recebe cerca de 1,1 milhão de turistas ao ano (Correio Brasiliense, 2016). Segundo pesquisas locais, a cidade recebe um número cada vez maior de turistas estrangeiros de países como: Japão, Estados Unidos, Argentina, México, Inglaterra, Portugal, Itália, Argentina e França.

O perfil do turista que visita Caldas Novas no período de férias ou mesmo na baixa estação é interessante, pois grande parte (44,37% em baixa temporada e 34,64% em alta temporada) vem do interior do estado de Goiás e de Goiânia, sendo o Distrito Federal o segundo em termos de visita àquela cidade nos períodos de baixa e alta temporada, como demonstram os dados da tabela que segue:

ORIGEM	BAIXA TEMPORADA-MAIO	ALTA TEMPORADA- JULHO
Goiânia e Interior	44,37%	34,64%
Distrito Federal	18,54%	21,55%
São Paulo	16,67%	18,04%
Minas Gerais	11,97%	15,18%

Tabela 4 – Origem do turista que visita Caldas Novas

FFonte: Secretaria de Turismo e Cultura de Caldas Novas (2003).

## Relação de Pendularidade

Morrinhos se insere em um arranjo populacional onde os municípios tem alta interação entre eles. De acordo com Censo 2010, a maior interação acontece com a cidade de Caldas Novas (Figura 3).

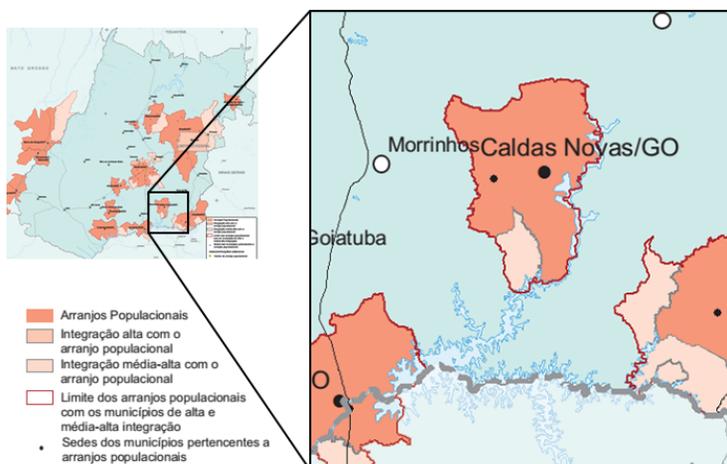


Figura 3 - Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas em Goiás e região sul do estado.

Adaptado de IBGE, Censo Demográfico 2010.

Os trabalhadores dos municípios aqui mencionados de acordo com o IBGE (2010) se deslocavam por mais de uma hora por dia entre suas residências e o trabalho (Figura 4).

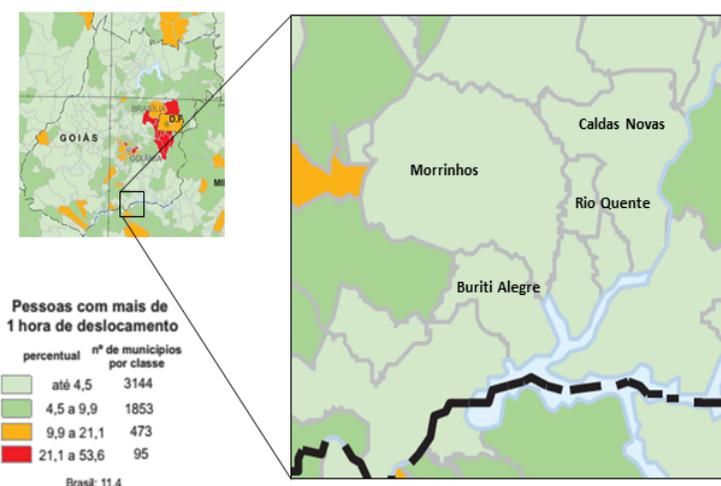


Figura 4 - Deslocamento pendular para trabalho entre os municípios estudados, IBGE, 2010.

Adaptado de: IBGE, Censo Demográfico 2010.

Muitos moradores de Morrinhos veem a necessidade de se locomoverem para as cidades vizinhas para trabalhar. A cidade de Rio Quente absorve grande parte dessa mão de obra oriunda de Morrinhos e de outras cidades da região. De acordo com dados fornecidos pelo Rio Quente Resort (Tabela 4), cerca de 2.442 pessoas trabalham na empresa atualmente. Esses funcionários possuem no Rio Quente Resord, média salarial de R\$ 1.996,00.

Cidades	Quantidade	Porcentagem (%)	Principais funções	Benefícios
Caldas Novas	913	37.39		
<b>Morrinhos</b>	<b>774</b>	<b>31.70</b>		
Rio Quente	275	11.26	Camareiro Garçom	Plano de Saúde e Odontológico
Marzagão	43	1.76	Ajudante de Cozinha	Participação nos Lucros Auílio Creche/Baba
Piracanjuba	36	1.47	Administrativo	Alimentação/Refeição Prêmio Casamento
Água Limpa	18	0.74		
Diversas	383	15.68		
Total	2442	100		

Tabela 5 - Informações do movimento pendular para cidade de Rio Quente em 2017.

FONTE: Departamento de Talentos Humanos e de Segurança do Trabalho do Grupo Rio Quente (2017).

De acordo com o Departamento de Talentos Humanos e de Segurança do Trabalho da empresa, o Grupo Rio Quente, possui hotéis e restaurantes dentro e fora do Complexo do Resort. -Emprega funcionários de Caldas Novas, Morrinhos, Buriti Alegre, Rio Quente, Piracanjuba, Marzagão, Água Limpa e na alta temporada de Aparecida de Goiânia e Corumbáiba.

De acordo com a empresa, os funcionários tem o transporte fornecido pela empresa, que possui ônibus próprio (de qualidade e com ar condicionado ) (Figura 5a e Figura 5b), possuem também a opção de passagens do transporte público (coletivo ) e nos casos de chefia, tem a disponibilidade de carro da empresa. Ao todo, são disponibilizados 11 ônibus da empresa para o transporte dos funcionários de Morrinhos. Estes onze veículos estão distribuidos em 3 turnos: manhã com 4 ônibus, tarde com 4 e os outros três durante a noite para os dias normais.



Figura 5 – a) transporte fornecido pela empresa b) trabalhadores embarcando no ônibus fornecido pela empresa.

Durante a alta temporada este número aumenta de acordo com a demanda de turistas recebidos no complexo. A empresa contrata funcionários de Morrinhos, tanto para a área operacional quanto para a liderança e de gerência, com salários variando de acordo com o cargo, com planos de cargos e salários, transporte, alimentação e saúde. Morrinhos é o segundo município que mais fornece funcionários para a empresa, 3 vezes mais do que a própria cidade de Rio Quente.

Em termos de extensão, Morrinhos é o maior município entre os estudados com 2.846,199 km<sup>2</sup> (IBGE,2017), embora sua população urbana seja bem menor que a população de Caldas Novas, mas, bem superior a de Rio Quente (Tabela 5).

Em relação ao PIB *per capita*, Caldas Novas e Morrinhos possuem valores similares, enquanto que este indicador no município de Rio Quente é superior mais de duas vezes em relação aos seus vizinhos.

Aspectos gerais	Morrinhos	Rio Quente	Caldas Novas
Área da unidade territorial_km <sup>2</sup>	2.846,199	255,961	1.595,966
População total - 2016	41.460	4.014	70.473
PIB per capita a preços correntes - 2014	25.175,17	67.269,87	25.716,72
Índice de Desenvolvimento Humano - (IDH 2010)	0.734	0.731	0.733
Índice de Desenvolvimento Humano (IDH)- 2000	0.806	0.806	0.802
Esperança de vida ao nascer	73.44	69.16	69.92
Probabilidade de sobrevivência até 60 anos	86.37	78.8	80.2

Tabela 6- Variáveis socioeconômicas relacionadas com a migração pendular.

Fonte: IPEA/IBGE (2017).

Não é verificada uma desigualdade social diferenciada em qualquer uma das cidades, mas nota-se uma queda no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos

anos de 2000 para 2010 nos três referidos municípios.

A expectativa e qualidade de vida da população na cidade de Morrinhos mostra-se melhor do que nas demais cidades, com Probabilidade de sobrevivência até 60 anos de mais de 86 anos.

O levantamento realizado por meio das entrevistas com moradores de Morrinhos que trabalham em Caldas Novas e Rio Quente permitem afirmar que a maioria deles, mais de 93%. Mais de 54% deles relataram que gastam cerca de 45 minutos de viagem entre sua cidade de moradia e o trabalho (Tabela 6). A maioria dos entrevistados também relataram que aprovam o transporte fornecido pela empresa empregadora. Quase 36% destes entrevistados afirmaram que trabalham na principal empresa empregadora de Rio Quente devidos aos benefícios oferecidos.

Meio de transporte utilizado	Quantidade (%)	Tempo de viagem (minutos)	Duração da viagem	Qualidade do transporte	Quantidade (%)	Motivos para trabalhar na empresa	Quantidade (%)
Ônibus da empresa	93,54	15	16.12	Excelente	41,93	Benefícios	35.98
Veículo da empresa	3,24	30	25.8	Satisfeito	25,8	Diversidade de vaga	16.12
Transporte público	3.22	45	54.83	Aceitável	29,05	Contratação imediata	6.45
		60	3.22	Insatisfeito	3,22	Falta de oportunidade	38.7

Tabela 7 – Considerações dos trabalhadores pendulares sobre a viagem diária entre residência (Morrinhos) e trabalho (Rio Quente)

Entre os entrevistados haviam funcionários de vários cargos com destaque para garçons, camareira, motoristas, área de administração, líder e gerência. Entrevistou-se também jardineiros e auxiliares de serviços gerais (Tabela 8).

Cargo/função	Quantidade (%)
Garçom	22.58
Camareira	22.58
Motoristas	6.45
Administração	6.45
Líder	6.45
Gerência	6.45
Jardineiros	3.22
Serviços gerais	3.22

Tabela 8 - Cargo / função dos funcionários entrevistados

O meio de transporte mais utilizado é o ônibus da própria empresa, com viagens com duração média de 45 minutos, sendo considerado pela maioria dos trabalhadores como de excelente qualidade. A maioria dos trabalhadores são do setor de camareira e garçom, classificando o motivo para tal trabalho como devido a falta de outras oportunidades.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da dificuldade de obtenção de dados junto aos municípios envolvidos na pesquisa e suas respectivas empresas contratantes de mão de obra de outros municípios, os dados reunidos neste trabalho visam contribuir para um melhor conhecimento em um âmbito geral da migração pendular da cidade de Morrinhos para as cidades circunvizinhas. É importante destacar que não houve intenção de esgotar a temática proposta

Apesar de existir um fluxo contínuo de trabalhadores entre as cidades estudadas, não percebeu com os dados levantados uma interferência indesejada na qualidade de vida dos cidadãos morrinhenses. Apesar da má qualidade “sazonal” das estradas que eles percorrem todos os dias até o trabalho.

O mercado de trabalho na região é vasto, principalmente devido ao turismo, e dado que as cidades estão localizadas muito próximas umas das outras, o tempo de viagem dificilmente ultrapassa uma hora, o que se equipara ou mesmo é menor do que o tempo que os moradores de grandes metrópoles que se deslocam diariamente entre a sua moradia até o trabalho.

É importante ressaltar que esse é um fenômeno urbano que tende a se expandir cada vez mais, dado o aumento dos aglomerados humanos. E o mais importante é manter o acompanhamento desse processo, principalmente para garantir uma boa gestão dos recursos humanos de cada município e manutenção do bem-estar dos cidadãos.

## REFERÊNCIAS

ASCHER, F. *Métapolis: ou l'avenir des villes*. Paris: Odile Jacob, 1995.

Agência Goiana de Turismo. (2013). *Inventário da Oferta Turística Caldas Novas*.

Alves, M. F. (2007). *POLÍTICA E ESCOLARIZAÇÃO EM GOIÁS- MORRINHOS NA PRIMEIRA REPÚBLICA*.

Antico, C. (2004). Deslocamentos Pendulares nos Espaços Sub-regionais da Deslocamentos Pendulares nos Espaços Sub-regionais da Região Metropolitana de São Paulo \* Introdução, 1–16.

Borges, O. M. (2005). *CALDAS NOVAS ( GO ): turismo e fragmentação sócio-espacial (1970-2005)*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). *Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil*. Retrieved from [http://www.ibge.gov.br/apps/arranjos\\_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf](http://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf)

Jr, E. M., & Ojima, R. (2014). Pendularidade e vulnerabilidade na Região Metropolitana de Campinas : repercussões na estrutura e no habitar urbano. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos E Regionais*, 16(2), 185–204.

Moura, R., Castello Branco, M. L. G., & Firkowski, O. L. C. D. F. (2005). Movimento pendular e perspectivas de pesquisas em aglomerados urbanos. *São Paulo Em Perspectiva*, 19(4), 121–133. <http://doi.org/10.1590/S0102-88392005000400008>

Souza, C. A. De. (2004). *GESTÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM MEIO DE HOSPEDAGEM : ESTUDO DE CASO DA POUSADA DO RIO QUENTE RESORTS*.

REDÇÃO IG. **Rio Quente Resorts – Goiás**. 2017. Acesso em 21 de maio de 2017.  
**Disponível em:** <<http://turismo.ig.com.br/destinos-nacionais/rio-quente-resorts-goias/n1597216385296.html>>

REIS, N. G. **Notas sobre urbanização dispersa e novas formas de tecido urbano**. São Paulo: Via das Artes, 2006.

SECRETARIA DE TURISMO E CULTURA DE CALDAS NOVAS. **Dossiê de Caldas Novas**. 2003.

# CAPÍTULO 2

## A EXTRAFISCALIDADE COMO INSTRUMENTO INDUTOR DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Data de aceite: 01/12/2020

**Luciana Oliveira de Souza**

Universidad Complutense de Madrid  
<http://lattes.cnpq.br/4537114468923225>

**André Alves Portella**

Universidade Católica do Salvador  
<http://lattes.cnpq.br/1782631349656661>  
<http://orcid.org/0000-0003-0196-9633>

**RESUMO:** O presente artigo visa a examinar se a extrafiscalidade, considerados os princípios da seletividade, da capacidade econômica e da solidariedade tributária, pode ser efetivo instrumento de indução ao desenvolvimento econômico e social e à sustentabilidade. A fim de efetivar tal estudo teve-se por eixo a tributação ambiental, em uma investigação interdisciplinar, usando o método lógico-linguístico, pesquisa qualitativa, abrangendo pesquisa documental e bibliográfica. Assim, revelou-se que a extrafiscalidade ambiental é pertinente para o fomento do desenvolvimento sustentável, conquanto *a priori* não ser o mais efetivo instrumento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Direito. Tributação. Meio Ambiente. Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** This paper aims to examine whether extrafiscality considered the principles of selectivity, economic capacity and solidarity tax, can be effective induction tool for economic and social development and sustainability. In order to carry out such a study, environmental

taxation was focused on, in an interdisciplinary investigation, using the logical-linguistic method, qualitative research, covering documentary and bibliographic research. Thus, it turned out that environmental extra-taxation is relevant for the promotion of sustainable development, although a priori it is not the most effective instrument.

**KEYWORDS:** Law. Taxation. Environment. Sustainability.

### 1 | INTRODUÇÃO

No presente cenário brasileiro, urge uma efetiva Reforma Tributária que promova o desenvolvimento sustentável e que leve em consideração o orçamento público amplamente comprometido com as dívidas interna e externa e com a folha de pagamento.

A fim de consubstanciar a pertinência e a relevância da questão ambiental, no contexto da Política Fiscal, é que se examina a extrafiscalidade - considerados os princípios da seletividade, da capacidade econômica e da solidariedade tributária - como instrumento indutor do desenvolvimento socioeconômico sustentável.

A metodologia empregada é assentada em pesquisas bibliográfica e documental no intuito de fundamentar a questão e de averiguar os dados empíricos e jurisprudenciais. Nesse sentido, impende analisar os conceitos, compreender o conteúdo e o atual tratamento da questão, assim como, identificar

normativamente os dispositivos que a compõe. Desse modo, será realizada uma análise doutrinária sistemática da interação dos elementos em comento, nos planos nacional e internacional, e será cotejada a jurisprudência no que couber.

Portanto, espera-se, a partir da conjunção desses fatores, desenvolver uma análise crítica da extrafiscalidade como indutora do desenvolvimento sustentável, de modo a fornecer componentes elementares que elucidem a temática e que auxiliem na solução de questões estruturais brasileiras.

## **2 I DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

### **2.1 Fundamentos Conceituais e Posicionamento Topológico Normativo**

O Estado tem o dever-poder político de intervir na atividade econômica para promover o desenvolvimento. Essa intervenção pode ocorrer no campo dos ingressos públicos. Neste contexto, a receita derivada é uma forma de arrecadação que se caracteriza por uma transferência de recursos do setor privado, sob coação, para o setor público.

No plano das Finanças Públicas, cabe elucidar que o tributo é receita derivada e disciplinada pelo Direito Público (BALEEIRO, 2015, p. 153). Ademais, resta esclarecer o conceito legal de tributo que é “toda prestação pecuniária compulsória, em moeda ou cujo valor nela se possa exprimir, que não constitua sanção de ato ilícito, instituída em lei e cobrada mediante atividade administrativa plenamente vinculada” (art.3º do CTN).

#### ***2.1.1 Extrafiscalidade***

Cabe destacar que, em regra, os tributos são compreendidos como instrumentos de fiscalidade por carrear recursos financeiros aos cofres públicos, objetivando o funcionamento do Estado. Portanto, a tributação fiscal é aquela que se limita a retirar do patrimônio dos particulares os recursos pecuniários para a satisfação de necessidades públicas (MONTERO, 2014, p. 176).

Entretanto, na perspectiva extrafiscal, o tributo não visa diretamente a arrecadação, objetiva sim, a atividade regulatória, utilizando estímulos ou desestímulos para determinadas atividades como forma de intervenção do Poder Público no domínio econômico (MONTERO, 2014, p. 178).

#### ***2.1.2 Princípio da seletividade***

A seletividade tributária é o princípio que rege a aplicação de alíquotas mais altas para os bens supérfluos ou não essenciais e, de alíquotas reduzidas, para aqueles bens essenciais. Estes bens consomem elevada fatia de renda da

população de menor capacidade econômica (VIEIRA, 2013, p.6).

### 2.1.3 Princípio da capacidade econômica

O princípio em tela está disciplinado no §1º do art. 145 da Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB), ao afirmar que A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios poderão instituir tributos, nos seguintes termos:

Art. 145. [...]

§1º Sempre que possível, os impostos terão caráter pessoal e serão graduados segundo a **capacidade econômica** do contribuinte, facultado à administração tributária, especialmente para conferir efetividade a esses objetivos, identificar, respeitados os direitos individuais e nos termos da lei, o patrimônio, os rendimentos e as atividades econômicas do contribuinte. *[grifos nossos]*

Logo, a justiça tributária deve repousar na personalidade e na gradação dos tributos segundo a capacidade econômica do contribuinte. Portanto, a condição elementar para um indivíduo ser indicado como contribuinte potencial reside em ser ele titular de patrimônio ou renda, quer sejam aparentes, quer se revelem mediante atos econômicos positivos. Exigir tributo de quem não possui patrimônio, além de impossibilidade prática, conduziria ao círculo vicioso de tomar e restituir, pois o suposto contribuinte engrossaria as filas dos necessitados da assistência do Estado. (BALEIRO, 1997, p. 748).

Corolário da isonomia e da capacidade econômica, o princípio da capacidade contributiva pressupõe uma base econômica, patrimônio ou renda, apta a suportar o gravame. Desse modo, a capacidade contributiva está atrelada à potência econômica global composta pelo índice de riqueza do indivíduo, consideradas as necessidades pessoais e as exigências coletivas (MOSCHETTI, 1980, p. 259).

Ressalte-se que, o valor do patrimônio ou da renda não é índice seguro para aferir a capacidade contributiva. Neste intuito, devem ser observados fatores subjetivos como a idade, a saúde, o estado civil, as condições familiares, a personalidade. Assim, a capacidade contributiva objetiva é comum a todos os contribuintes e considera os gastos com a aquisição e a manutenção do patrimônio. Noutro passo, a capacidade contributiva subjetiva revela-se pelas adaptações do gravame às circunstâncias pessoais.

Cabe destacar que, a extrafiscalidade dos tributos ambientais terá como limite a capacidade contributiva do poluidor, posto que ao lado do interesse ambiental, faz-se necessária a manifestação de riqueza do sujeito passivo da obrigação tributária a fim de que suporte a exação a ser cobrada (AMADO, 2018, p. 1321).

Outrossim, o princípio da capacidade contributiva traduz uma capacidade

econômica qualificada por um dever de solidariedade. Isto porque, “el problema de la legitimidad de los fines extrafiscales del impuesto queda resuelto, a nuestro juicio, de modo simple y lineal si se parte de la calificación de la capacidade contributiva em clave solidaria.” (MOSCHETTI, p. 278, 1980).

#### 2.1.4 Princípio da solidariedade tributária

O princípio em questão está expresso no texto da Constituição da República, nos termos do art 3º, I, *litteris*: “Constituem objetivos fundamentais da República Federativa do Brasil: I - construir uma sociedade livre, justa e solidária [...]”.

Nesse ínterim, a solidariedade concentra a ideia da responsabilidade que cada um tem pela sorte e destino dos demais membros da comunidade (CUNDA, 2013, p.1919). Destarte, importa destacar a solidariedade horizontal, que se refere à auto-organização dos indivíduos para a solução de problemas comuns, e a solidariedade vertical, que consiste na ação compensatória do Estado ao impedir que as desigualdades se perpetuem. No plano tributário, o dever de contribuir com os gastos públicos é um marco dos deveres da solidariedade. Assim sendo, a capacidade contributiva tem uma função de solidariedade e uma função garantista (FALSITTA, 2003, p. 57), *in verbis*:

[...] nell'ordinamento tributário una duplice funzione: una funzione solidaristica chiamando tutti i consociati a concorrere alle spese pubbliche necessarie alla stessa sopravvivenza, nonché al progresso dell'intera comunità in base alla forza economica di ciascuno; ma anche una funzione garantista, vincolando la potestà tributaria a chiamare al concorso solo coloro che hanno una effettiva capacità di contribuzione, nella misura e nei limiti della stessa.

#### 2.1.5 Instrumentos Indutores

A intervenção do Estado no domínio econômico para a promoção do desenvolvimento sustentável tem sido realizada por meio de instrumentos indutores consubstanciados pela extrafiscalidade tributária e por mecanismos econômicos (BRITO, 2016, p.228).

A tributação ambiental, enquanto instrumento regulatório de uma política governamental, consiste na modificação da finalidade do tributo que assume a função precípua de regulação do mercado e de promoção de comportamentos comprometidos com o desenvolvimento socioeconômico sustentável (LOBATO; ALMEIDA, 2005, p.625).

A indução será positiva quando houver estímulo a determinado comportamento, tais quais: a desoneração ou incentivo tributário (redução de alíquotas ou diminuição da base de cálculo); a isenção ou renúncia fiscal (a anistia,

a remissão); os benefícios (preferência na obtenção de créditos ou subsídios); ou ainda, o crédito presumido (SALIBA, 2005, p. 323).

A indução será negativa quando o Estado desestimular determinado comportamento, assim como: admitir a incidência de novas hipóteses tributárias, mediante reconhecimento de novos fatos imponíveis; ou onerar as hipóteses existentes com o aumento das alíquotas tributárias pela graduação ou progressividade (REALI, 2006, p.43).

Cabe salientar que o Brasil tem incipiente tendência à utilização de instrumentos tributários e econômicos para fins ambientais. Ademais, os poucos instrumentos indutores existentes são utilizados em políticas locais ou pontuais, sem que haja uma sistematização nacional. Por vezes, os instrumentos econômicos e fiscais sobre critérios ecológicos se dá dentro de políticas públicas genéricas de caráter estritamente arrecadatório, sem objetivar efetivamente a preservação do meio ambiente (TUPIASSU, 2006, p. 177).

Em âmbito global, cabe destacar o diagnóstico realizado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) que analisou instrumentos de ecotributação em quase duas dezenas de países, realçando os seguintes instrumentos: impostos e taxas; licenças comercializáveis; sistemas de depósito-reembolso; multas por inobservância de limites; indenizações; e subvenções (TUPIASSU, 2006, p. 170).

### 2.1.6 *Desenvolvimento Econômico e Social Sustentável*

Em que pese a similitude do significado das palavras crescimento, desenvolvimento e prosperidade, cabem alguns reparos. O signo crescimento está associado à ideia elementar de aumento. Neste sentido, uma medida para o crescimento econômico é o produto interno bruto (PIB) *per capita*, que, em face das disparidades sociais e da concentração de renda, não revela desenvolvimento ou prosperidade humana.

Noutro passo, o termo desenvolvimento contempla uma envergadura superior à de um mero aumento, ele é melhor caracterizado pelo incremento ocorrido em um objeto, uma pessoa ou uma situação em face das condições do tempo e do espaço. Assim, o desenvolvimento sustentável pressupõe um crescimento econômico e progresso social com a preservação do meio ambiente. Deste modo, a Constituição da República assumiu um compromisso com o desenvolvimento sustentável, *ipsis litteris*:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presente e futuras gerações.

Ademais, a prosperidade diz respeito a que a vida esteja bem para o ser humano. Cada prosperidade individual é restringida na presença de calamidade social. Portanto, a prosperidade de todos está entrelaçada e se traduz em uma visão de progresso humano e de sentido da vida (JACKSON, 2013, p.12).

A prosperidade é compreendida por uma visão partilhada e duradoura. No entanto, o modelo econômico e as aspirações sociais vigentes estão desalinhados com o sentido de prosperidade. Isto impele a sociedade ocidental à expansão contínua por desejos materiais, a despeito dos limites ecológicos da atividade humana. É preciso reconciliar as aspirações humanas por uma boa vida com as reservas finitas do planeta.

Neste ínterim, a Organização das Nações Unidas (ONU), em sua Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, busca fortalecer a paz universal com mais liberdade e indica um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade. Desse modo, apresenta 17 objetivos de desenvolvimento sustentável e 169 metas integrados e indivisíveis, equilibrando as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental (BRASIL, Agenda 2030, p.1).

Além do mais, em conformidade com o art. 170 da CRFB, a ordem econômica valoriza o trabalho e a livre iniciativa e assegura uma existência digna com justiça social em observância à defesa do meio ambiente. Logo, resta impositiva uma política tributária sustentável, que induza ao crescimento econômico condicionado às necessidades socioambientais, rompendo a lógica de concentração da riqueza e socialização dos expurgos.

## **2.2 Análise Sistemática Crítica da Tributação Ambiental**

No Brasil, o desenvolvimento tem sido obstaculizado, sobretudo, pelos modelos econômicos, sociais e ambientais historicamente implementados. Neste contexto, cabe repensar a estrutura da tributação: sobre a renda, patrimônio e consumo e o seu impacto nos fundamentos da república; sobre a personalização e a progressividade; e sobre a redistribuição dos benefícios públicos. Isto posto, emerge a questão do emprego da tributação ambiental, da extrafiscalidade como indutor do desenvolvimento sustentável.

Neste país urgem políticas públicas assertivas para que seja possível transpor: a condição de mero fornecedor de commodities; a baixa qualidade da educação; a luta pela garantia do mínimo existencial e do não confisco; e a cultura do consumo desenfreado. Nessa perspectiva, o inteligente manejo da extrafiscalidade, considerados os princípios da seletividade, da capacidade econômica e da solidariedade tributária, se apresenta como pilar para o desenvolvimento estrutural, transindividual e intergeracional.

No âmbito pátrio, em que pese ilações sobre resultados animadores dos

tributos com finalidade de incentivar a redução das emissões de poluentes ou diminuição da utilização dos recursos naturais, não há indicadores confiáveis. Portanto, o Brasil anseia por uma reforma tributária que contemple elementos de tributação ambiental e de estudos que avaliem a exata implicação do emprego dos instrumentos econômico-tributários no tratamento de questões ecológicas.

Cabe ressaltar a efetividade do IPI verde, em âmbito jurisprudencial, na Apelação em Mandado de Segurança (TRF-5 – AMS:91766 SE 0000408-84.2004.4.05.8500, j. 06 out 2009), nos seguintes termos:

[...] A majoração da alíquota de IPI de embalagens elaboradas com resinas plásticas para 15%, promovida pelo Decreto n. 3777/2001, com a manutenção do benefício da alíquota zero para aquelas fabricadas com papel ou celulose, constitui uma modalidade absolutamente legítima de tributação ambiental, que consiste na utilização do tributo como instrumento jurídico-econômico de estímulo a um padrão de consumo ambientalmente mais adequado [...]

Em matéria de ITR, a defesa do meio ambiente por meio da utilização da tributação pode ser constatada em sede de Apelação (TRF-4 – APL: 50317416420144047200 SC 5031741-64.2014.4.04.7200, j. 24 abr 2018), de Recurso Especial (STJ – Resp: 1158999 SC 2009/0186445-0, j. 05 ago 2010), de Apelação/Reexame Necessário (TRF-4 – APELREEX: 50036711320144047014 PR 5003671-13.2014.404.7014, j. 03 fev 2016) e, em particular, na Apelação Cível (TRF 4 – AC: 97 SC 2008.72.03.000097-4, j. 09 fev 2010), conforme segue:

[...] a revelação de riqueza para fins e apuração do ITR é a propriedade de imóvel rural consoante sua função ambiental. Quanto maior a proteção/preservação/uso sustentável das florestas e recursos naturais, menor deve ser a tributação. [...]

No plano internacional, diversos países adotaram medidas tributárias relacionadas à proteção do meio ambiente. Entretanto, não é certo chamá-las de reforma tributária ambiental, pois nenhuma modificou os fundamentos dos respectivos sistemas tributários. Bem da verdade, realizaram criação, majoração, consolidação de tributos ambientais, eventualmente acompanhadas de redução ou extinção de outros tributos. Neste sentido, países europeus estão na vanguarda da questão tributário-ambiental, a saber: Finlândia – 1990; Suécia – 1991; Dinamarca – 1993; Alemanha – 1999; e Reino Unido - 1996. (SOARES; JURAS, 2015, p. 245).

Relatório da OCDE (2011, p. 12) sugere que o uso da extrafiscalidade ambiental pode viabilizar avanços ambientais, econômicos e na transparência pública, porém revela a eficácia mais imediata gerada por instrumentos econômicos. Não obstante, a tributação ambiental tem sido empregada para tratar questões, desde a redução de resíduos sólidos e a poluição da água até as emissões atmosféricas.

No entanto, ainda persiste questionável o exato potencial de indução, de transformação de padrões de produção e consumo, a partir da extrafiscalidade, e a sua efetividade em afastar os desequilíbrios ambientais frente aos limites ecológicos em escala planetária.

O relatório *Perspectivas Ambientais para 2030* destaca o Pacote Global de Políticas para a OCDE. Ao combinar ações políticas específicas, concluiu-se que alguns dos desafios ambientais fundamentais podem ser abordados com um custo de aproximadamente 1% do PIB mundial em 2030. Diante de tal cenário, as emissões de óxido de azoto e óxidos de enxofre diminuiriam cerca de um terço em 2030. Entretanto, sem o lançamento das políticas ambientais, dentre elas a “fiscalidade verde”, as emissões de gases com efeito estufa (GEE), teria aumento de 37% em 2030. (OCDE, 2008, p.3).

Segundo a Declaração da *Independent Commission for the Reform of International Corporate Taxation* (ICRICT, 2015, p. 12), os Estados-membros da ONU deveriam promover o Comitê de Especialistas sobre Cooperação Internacional em Questões de Tributação e convertê-lo em Comissão Intergovernamental dotada de recursos adequados para auxiliar na elaboração de documentos que guiem as reformas tributárias ambientais das nações de forma coordenada e cooperativa.

## 2.3 Metodologia

A metodologia utilizada, assentada em vasta pesquisa bibliográfica e documental, oportunizou a densa fundamentação da questão e oportunizou lançar mão de relevantes dados empíricos, inclusive, do pensamento jurisprudencial. A pesquisa qualitativa permitiu dialogar com os conceitos, realizar a análise de conteúdo e enfrentar o atual tratamento da questão, bem como, identificar normativamente os dispositivos que a compõe. Nesse passo, foi conduzida uma análise doutrinária sistemática da interação dos elementos em tela, nos planos nacional e internacional, e foi cotejada a jurisprudência brasileira.

## 2.4 Resultados Encontrados e Discussão

O inquestionável caráter interdisciplinar da questão, permeando o Direito, a Administração, as Finanças e a Economia, é exaltado por Oliveira (2013, p. 88). Desse modo, cabe realçar o pensamento de Tompowski (2016, p. 498) pela defesa de mudanças estruturais profundas no sistema tributário como medida para a redução das desigualdades socioeconômicas e a promoção de avanços nos campos econômico, social e ambiental.

Vale ressaltar que, enquanto os princípios da seletividade e da solidariedade são pedra de toque da tributação ambiental, a capacidade contributiva é um critério limitante nos casos de tributação extrafiscal. No entanto, corroborando

o pensamento de Folloni (2014, p.218), dentro da classe dos destinatários, a capacidade contributiva será critério para verificar a eficácia da tributação extrafiscal e evitar efeitos desiguais nos contribuintes.

Conforme defende Tompowski (2017, p. 131) e que ratifica Folloni (2014, p.217), atualmente, há um apelo para o uso da tributação ambiental, no entanto, persiste a carência de dados empíricos quanto à sua produção de efeitos sociais, econômicos e ambientais. Neste sentido, os estudos da Câmara dos Deputados, da OCDE e do ICRICT apontam para o incipiente nível de conhecimento sobre os efeitos indutores dessa dimensão tributária nas condutas intersubjetivas. Cabem, portanto, estudos posteriores que indiquem a relação custo-benefício, de modo objetivo e pragmático, a fim de propor elementos para o convencimento dos mais céticos.

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face do exposto, cabe salientar que a extrafiscalidade, modulada pelos princípios da seletividade, da capacidade econômica e da solidariedade tributária, revela-se como plausível instrumento tributário de indução ao desenvolvimento econômico e social e à sustentabilidade, ainda que os instrumentos econômicos pareçam ter repercussão mais efetiva. No entanto, o Brasil não dispõe de uma legislação específica acerca da tributação ambiental e carece de estudos mais aprofundados sobre a temática.

Ademais, ressalte-se que a tributação ambiental associada à supervisão e controles assertivos deve ser motivo de perda de competitividade de organizações poluidoras e que, portanto, a implantação da tributação ambiental, em certos países, motiva o deslocamento da poluição e da degradação ambiental para países onde esses instrumentos forem fracos ou inexistentes. Assim, é essencial que os sistemas tributários sejam refinados, considerando a questão ambiental de forma global.

### REFERÊNCIAS

AMADO, Frederico. **Curso de direito e prática ambiental**. v.2. Salvador: Juspodivm, 2018.

BALEEIRO, Aliomar. **Limitações Constitucionais ao Poder de Tributar**. 7.ed. Rio de Janeiro:Forense, 1997.

\_\_\_\_\_. **Uma Introdução à Ciência das Finanças**. 19.ed. Rio de Janeiro: Forense, 2015.

BRASIL. **Agenda 2030: ONU Brasil**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

BRITO, Edvaldo P. **Reflexos Jurídicos da Atuação do Estado no Domínio Econômico**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

CUNDA, Daniela Zago Gonçalves da. **Sustentabilidade Fiscal sob a Ótica da Solidariedade e os Direitos Sociais em Xequê**. In Revista do Instituto do Direito Brasileiro. Ano 2(2013). N.3, p. 1911-1967. ISSN:2182-7567. Disponível em: <[https://www.cidp.pt/publicacoes/revistas/ridb/2013/03/2013\\_03\\_01911\\_01967.pdf](https://www.cidp.pt/publicacoes/revistas/ridb/2013/03/2013_03_01911_01967.pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2019.

FALSITTA, Gaspare. **Corso Istituzionale de Diritto Tributario**. Padova: CEDAM, 2003.

FOLLONI, André. **Isonomia na Tributação Extrafiscal**. In Revista Direito GV.p. 201-220. Jan a jun 2014. Disponível em: <https://direitosp.fgv.br/publicacoes/revista/artigo/isonomia-tributacao-extrafiscal>. Acesso em: 3 jun. 2019.

ICRICT. **Declaração**. 2015. Disponível em: <<http://ijf.org.br/wp-content/uploads/2016/04/ICRICT-Com-Rec-Report-Port-v1.01.pdf>>. Acesso em: 4 jun. 2019.

LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante; ALMEIDA, Gilson César Borges de. **Tributação Ambiental: Uma contribuição ao desenvolvimento sustentável**. In Direito Tributário Ambiental. Org. TÔRRES, Heleno Taveira. São Paulo: Malheiros, 2005.

MONTERO, Carlos Eduardo Peralta. **Tributação Ambiental: Reflexões sobre a introdução da variável ambiental no sistema tributário**. São Paulo: Saraiva, 2014.

MOSCHETTI, Francesco. **El Principio de Capacidad Contributiva**. Instituto de Estudios Fiscales, Madrid, 1980.

OCDE. **Environmental Taxation: A Guide for Policy Makers. Better Policies for Better Lives**. Paris: OCDE, 2011.

OCDE. **Perspectivas Ambientais da OCDE para 2030**. Sumário em Português. ISBN978-92-64-04048-9. 2008. Disponível em: <[www.oecd.org/ambiente/indicadores-modellin](http://www.oecd.org/ambiente/indicadores-modellin)> Acesso em: 2 jun. 2019.

OLIVEIRA, Edson Luciani de. **Direito Tributário e Economia: Análise conjunta para objetivos sociais sustentáveis**. In Revista do Mestrado em Direito UCB, Brasília, v. 7.p. 62-91, jan-jun, 2013. Disponível em: <<https://portalrevistas.ucb.br/index.php/rvmd/article/view/4075>> . Acesso em: 4 jun. 2019.

REALI, Darcí. **Os Municípios e a Tributação Ambiental**. Caxias do Sul: EducS, 2006.

SALIBA, Ricardo Berzosa. **Fundamentos do Direito Tributário Ambiental**. São Paulo: Quartier Latin, 2005.

SOARES, Murilo Rodrigues da Cunha; JURAS, Ilídia da Ascensão Garrido Martins. **Desafios da Tributação Ambiental**: Estudo. Brasília: Câmara dos Deputados – Consultoria Legislativa. 2015.

Superior Tribunal de Justiça STJ – Recurso Especial: **REsp 1158999 SC 2009/0186445-0**. Disponível em: <<https://stj.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/15913008/recurso-especial-resp-1158999-sc-2009-0186445-0?ref=juris-tabs>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

TOMKOWSKI, Fábio. **A Tributação Extrafiscal e as Teorias da Decisão como Indutores de Comportamentos Sustentáveis**. In Revista Jurídica Luso-Brasileira. Ano 2(2016), n.2, p. 483-501. Disponível em: [www.cidp.pt/publicacoes/revistas/rjlb/2016/2/2016\\_02\\_0483\\_0501.pdf](http://www.cidp.pt/publicacoes/revistas/rjlb/2016/2/2016_02_0483_0501.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **Teorias da decisão, extrafiscalidade tributária e sustentabilidade**. In Revista de Direitos Fundamentais e Tributação. V.1, n.1, p. 124-139, ago. 2017. Disponível em <<http://rdft.com.br/index.php/revista-01/article/view/11>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

Tribunal de Justiça do Paraná TJ-PR - ACAO CAUTELAR : **AC 8423481 PR 842348-1** (Acórdão). Disponível em: < <https://tj-pr.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/21554818/acao-cautelar-ac-8423481-pr-842348-1-acordao-tjpr?ref=juris-tabs>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

Tribunal Regional Federal da 4ª Região TRF-4 - Apelação/Remessa Necessária : **APL 50317416420144047200 SC 5031741-64.2014.4.04.7200**. Disponível em: <<<https://trf-4.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/571441143/apelacao-remessa-necessaria-apl-50317416420144047200-sc-5031741-6420144047200?ref=serp>>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

Tribunal Regional Federal da 4ª Região TRF-4 - APELAÇÃO CIVEL: AC 97 SC 2008.72.03.000097-4 . Disponível em: <<https://trf-4.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/17154163/apelacao-civel-ac-97-sc-20087203000097-4-trf4?ref=serp>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

Tribunal Regional Federal da 4ª Região TRF-4 - APELAÇÃO/REEXAME NECESSÁRIO: APELREEX 50036711320144047014 PR 5003671-13.2014.404.7014. Disponível em: <<https://trf-4.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/382121022/apelacao-reexame-necessario-apelreex-50036711320144047014-pr-5003671-1320144047014?ref=juris-tabs>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

Tribunal Regional Federal da 5ª Região TRF-5 - Apelação em Mandado de Segurança : **AMS 91766 SE 0000408-84.2004.4.05.8500**. Disponível em: <<https://trf-5.jusbrasil.com.br/jurisprudencia/8344645/apelacao-em-mandado-de-seguranca-ams-91766-se-0000408-8420044058500?ref=serp>>. Acesso em: 8 jun. 2019.

TUPIASSU, Lise Vieira da Costa. **Tributação Ambiental: A utilização de instrumentos econômicos e fiscais na implementação do direito ao meio ambiente saudável**. Rio de Janeiro: Renovar, 2006.

VIEIRA, Gabriel Antônio de Moraes. **Princípio da Seletividade pelas Balizas da Tributação Ambiental: IPI e ICMS**. In Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFRGS. V. III, n.1. ano 2013. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/index.php/ppgdir/article/view/40404>> . Acesso em: 6 jun. 2019.

## IMPORTÂNCIA E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES, O SUCESSO EUROPEU E AS PRÓXIMAS ETAPAS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 06/10/2020

### Jaime Francisco de Sousa Resende

Universidade Federal de São João del Rei  
São João del Rei/MG  
<https://orcid.org/0000-0003-4385-0980>  
<http://lattes.cnpq.br/5440077380767556>

### Andrea Lucia Teixeira Charbel

Universidade Federal de São João del Rei  
São João del Rei/MG  
<http://lattes.cnpq.br/5244450039924933>

### Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

Universidade Federal de São João del Rei  
São João del Rei/MG  
<http://lattes.cnpq.br/0536700393507277>

**RESUMO:** As edificações representam uma importante parcela no consumo mundial de energia e por isso, nas últimas décadas, têm ganhado atenção dos governos, que passaram a adotar políticas para reduzir o consumo no setor. Entre as possíveis medidas para racionalização do uso da energia nos edifícios, é destacado neste artigo a importância e os desafios das certificações de eficiência energética em edificações. Também é apresentada a evolução da legislação da União Europeia para desempenho energético dos edifícios, destacando-se o exemplo de Portugal, considerado bem-sucedido na aplicação da certificação energética em edificações. Por fim, é mostrado a evolução do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações e as suas próximas

etapas que contemplam, entre outros fatores, modificações na etiqueta, que passará a exibir o consumo real de energia primária da edificação e visam possibilitar ao consumidor a melhor tomada de decisão para compra e planejamento de seu imóvel.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética em edificações; Políticas públicas; Atualização PBE Edifica.

### IMPORTANCE AND CHALLENGES OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY EFFICIENCY CERTIFICATIONS IN BUILDINGS, THE EUROPEAN SUCCESS AND THE NEXT STEPS OF THE BRAZILIAN LABELING PROGRAM FOR BUILDINGS

**ABSTRACT:** Buildings represent an important part of the world's energy consumption, and for this reason, in the last decades, they have gained attention from governments, which have adopted policies to reduce consumption in the sector. Among the possible measures to rationalize the use of energy in buildings, the importance and challenges of energy efficiency certifications in buildings are highlighted in this article. The evolution of European Union legislation for the energy performance of buildings is also presented, highlighting the example of Portugal, considered successful in the application of energy certification in buildings. Finally, it is shown the evolution of the Brazilian Program of Buildings Labeling and its next steps, which include, among other factors, changes in the label, which will show the real consumption of primary energy of the building and aim to enable the consumer to

make the best decision to purchase and plan your property.

**KEYWORDS:** Energy efficiency in buildings; Public policy; PBE Edifica update.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo Buges (2014) “o conceito de Eficiência Energética não pode ser entendido como uma metodologia estática, mas como um processo evolutivo onde não existe um marco a ser alcançado e, sim, uma constante busca por processos e produtos cada vez mais eficientes energeticamente”. Em relação as certificações de eficiência energética em edificações, tal definição se encaixa perfeitamente, pois a atualização dos regulamentos deve sempre avançar ao mesmo passo que implementações anteriores são instaladas.

Durante as três últimas décadas, tanto os países industrializados quanto os em desenvolvimento, promoveram políticas para incentivar a redução do consumo de energia nos edifícios. A maioria destas políticas pode ser agrupada em três categorias: incentivos econômicos (através de impostos e preços de energia), programas informativos (campanhas de conscientização energética, auditorias energéticas) ou requisitos regulatórios (códigos ou certificações) (JANDA, 2009).

Com o cenário atual de consumo energético das edificações no mundo e, sobretudo, pelas vantagens obtidas na implementação de políticas voltadas para eficiência energética, diversos países já estão aplicando e desenvolvendo mecanismos de certificação de edifícios. A certificação energética de edifícios é uma tendência mundial, já utilizada em diversos países e em fase de implantação por outros (CARLO e LAMBERTS, 2010).

## 2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

É realizada uma revisão teórica da importância e desafios para implementação das certificações de eficiência energética em edificações, além da análise regulamentar e estrutural da evolução da regulamentação europeia, que se estabelece como autoridade mundial no assunto. É destacado o bem-sucedido exemplo de aplicação da regulamentação de etiquetagem realizada por Portugal e, por fim, analisada a atual situação do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificação e as suas próximas etapas na busca da melhor aceitação do mercado consumidor.

## 3 | IMPORTÂNCIA E DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DAS CERTIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O setor das edificações é responsável por cerca de 21% do consumo de

energia no mundo, percentual que, segundo projeções, irá se manter para o ano de 2040. Estima-se, ainda, que entre 2015 e 2040 neste setor, o consumo de eletricidade terá um aumento anual de 2% enquanto o consumo de energia nas edificações deverá aumentar 32%, sendo a maior parte deste aumento creditada aos países em desenvolvimento. (EIA, 2017).

Nas Figuras 1 e 2 é mostrada uma projeção do consumo mundial dos setores residencial e comercial de edificações, respectivamente, por tipo de fornecimento. Pode-se verificar a pequena participação das energias renováveis (EIA, 2017).

A maior parte das edificações aumentam seus custos operacionais por desconsiderarem, desde a concepção do projeto arquitetônico até a utilização final, os critérios da arquitetura bioclimática, bem como materiais, equipamentos e tecnologias construtivas voltadas à eficiência energética (ASSIS et al., 2007). Edifícios eficientes, mudança no estilo de vida e padrões de consumo da população podem reduzir consideravelmente, a curto e médio prazo, as alterações promovidas no clima devido ao uso de energia (FOSSATI, 2008).

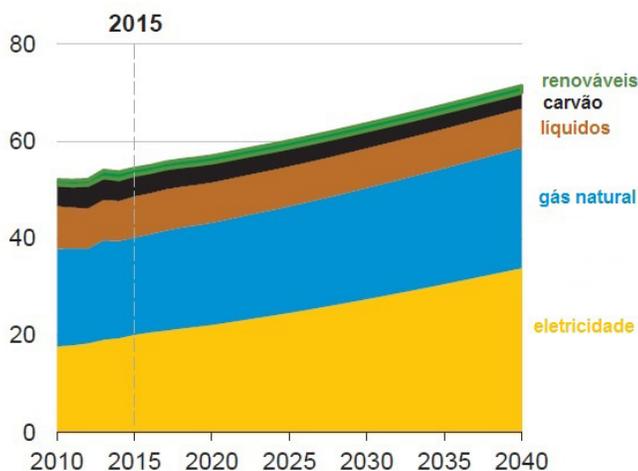


Figura 1: Projeção do consumo mundial de energia do setor residencial em quadrilhões Btu.

Fonte: EIA (2017).

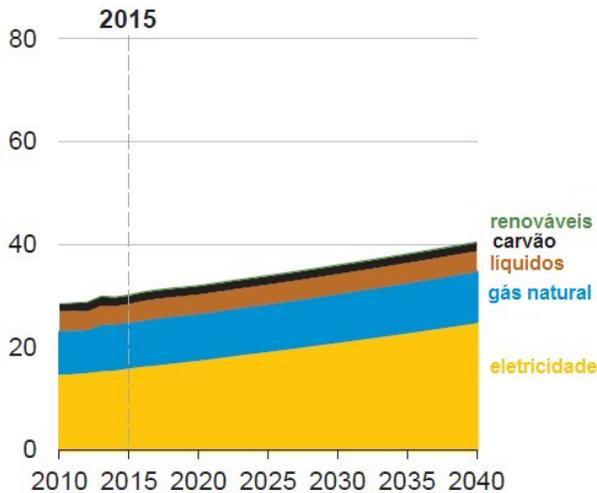


Figura 2: Projeção do consumo mundial de energia do setor comercial em quadrilhões Btu.

Fonte: EIA (2017).

De acordo com Liu, Meyer e Hogan (2010) é evidente a economia obtida com a utilização de melhorias relacionadas à eficiência energética nas edificações, tanto em países desenvolvidos como nos em desenvolvimento. Porém, o mercado encontra barreiras que impedem a adoção de tecnologias eficientes, sendo os principais fatores destacados a seguir:

- Problemas de visibilidade e relevância dos custos: no momento de decisão da compra de edificações, fatores como gastos futuros em energia são desprezados, porque comparado aos custos iniciais, as faturas mensais são irrelevantes;
- Tomada de decisão não realizada pelo usuário final: na maioria das vezes no setor construtivo, as decisões de investimentos são feitas por investidores e projetistas, e não pelos responsáveis pelo pagamento das faturas energéticas;
- Falta de informação e conhecimento: informações sobre eficiência energética são por diversas vezes incompletas, difíceis de serem obtidas ou confiáveis. Projetistas e contratantes nem sempre conhecem as tecnologias disponíveis, e mesmo quando tem conhecimento não as utilizam;
- Complexidade da construção de edificações eficientes: o processo de entrega de uma edificação é mais complexo comparado à fabricação de carros ou equipamentos. O projetista de edificações trabalha com diversos outros profissionais independentes, além de fornecedores de materiais e componentes, diferentemente de funcionários que sempre

fabricam o mesmo produto. Para resultados satisfatórios os membros da cadeia construtiva devem trabalhar em equipe, além de terem conhecimento técnico.

Por causa destas barreiras a força de mercado na implementação dos conceitos de eficiência energética não pode ser justificada somente pela minimização do custo econômico do ciclo de vida. Medidas políticas e regulatórias obrigatórias são necessárias para encerrar este embate (LIU, MEYER e HOGAN, 2010).

A primeira norma energética para edificações comerciais foi publicada pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), no ano de 1975, motivada pelo embargo de petróleo realizado pela *Organization of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC) (HARVEY, 2006). Desde seu lançamento, a ASHRAE 90-75, chamada de *Energy Conservation in New Building Design*, passou por diversas revisões (em 1980, 1981, 1989, 1990, 1999, 2001, 2004, 2007, 2010, 2013 e 2016), e atualmente é dividida em duas partes: ASHRAE 90.1 – *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* e ASHRAE 90.2 – *Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings*, e usadas em diversas partes dos Estados Unidos e em diversos países do mundo (HUNN, 2010; ASHRAE, 2017).

Até a década de 90, poucos países em desenvolvimento possuíam com alguma norma ou regulamento de eficiência energética em edificações e apenas alguns países do sudeste da Ásia dispunham de certificados energéticos de modo voluntário para o setor industrial (LIU, MEYER e HOGAN, 2010). No estudo de Janda (2009), verifica-se que, países da América Latina, Oriente Médio e África, já apresentavam algumas certificações energéticas.

Liu, Meyer e Hogan (2010) destacam quatro desafios para a implementação das Certificações de Eficiência Energética em Edificações nos países em desenvolvimento:

- Ter um amplo e firme compromisso político com a eficiência energética e/ou mudanças climáticas: a causa inicial do problema não é a alocação de recursos para promover a eficiência energética, mas o seu não reconhecimento como pilar estratégico da energia nacional. Para isso, é necessária a efetivação de certificações podendo a população, então, experimentar os benefícios e apoiar as medidas de eficiência energética;
- Estabelecimento de um sistema eficaz de supervisão governamental para a construção de edifícios: a efetividade desta medida depende da transparência e força do governo, que normalmente é frágil nos países em desenvolvimento. Outro problema é a alta informalidade do setor construtivo nesses países;
- Desenvolvimento da capacidade de conformidade da cadeia de supri-

mentos da construção civil: devem ser estabelecidos padrões para avaliar e certificar novos equipamentos eficientes, para a sua utilização e implantação confiável;

- Financiamento de custos adicionais para edifícios mais eficientes: para promover a adoção de certificações em países em desenvolvimento devem ser considerados mecanismos de financiamento para compensar os custos de mercado.

Os desafios abordados são superáveis em países cujo crescimento econômico é sólido e o governo considera as ações de eficiência energética com seriedade, porém atingir resultados significativos demanda tempo. A China, por exemplo, iniciou cedo a implementação de medidas de eficiência energética e com persistência obteve um bom resultado, além de forte crescimento econômico (LIU, MEYER e HOGAN, 2010).

#### **4 I REGULAMENTAÇÃO EUROPEIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES**

Em 2007, a União Europeia (UE) em 2007 se comprometeu com o *20-20-20 target* para 2020, que tem como base a melhoria da eficiência energética, com a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em 20% comparado aos níveis de 1990, 20% do consumo total mantido pela energia de fontes renováveis e redução de 20% do uso de energia primária em relação aos níveis projetados (LIU, MEYER e HOGAN, 2010).

As edificações na UE são responsáveis por 40% do consumo energético e 36% das emissões de CO<sub>2</sub> sendo, então, um grande potencial para medidas de eficiência energética. Com a redução de 30% no consumo de energia nas edificações europeias, o consumo total de energia na Europa diminuiria 11%, mais da metade de uma das metas do *20-20-20 target* (LIU, MEYER e HOGAN, 2010).

Em 2002 foi lançada a Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios, que visa melhorar a eficiência energética no setor da construção e que impõe na União Europeia uma harmonização das metodologias através de códigos e medidas. O documento ditava que todos os Estados membros deveriam adotar as exigências normativas até o início de 2006 (LIU, MEYER e HOGAN, 2010; COMISSÃO EUROPEIA, 2002).

Especialistas e políticos verificaram que a meta da UE de redução de 30% de energia em edificações até o ano de 2020 não poderia ser alcançada através da Diretiva de 2002, uma vez que enquanto a parcela de edifícios existentes era mais significativa do que a de novos edifícios, a Diretiva 2002/91/CE se restringia aos edifícios existentes com área superior a 1000 m<sup>2</sup>, os quais representam apenas

29% do setor de construção europeu. Seriam necessários, então, objetivos mais rigorosos para o desempenho energético das edificações (LIU, MEYER e HOGAN, 2010, COMISSÃO EUROPEIA, 2002).

No ano de 2008 foi proposta pela Comissão Europeia e aprovada pelo Parlamento Europeu uma revisão da Diretiva 2002/91/CE, com mudanças fundamentais e uma reformulação de compromisso. Em 2010, foi emitida a Diretiva 2010/31/UE, na qual o âmbito de aplicação da Diretiva de 2002 foi ampliado, abolindo a exigência da limitação de reformas somente para grandes edificações. Os Estados Membros deveriam aplicar a nova Diretiva no prazo de dois anos e uma avaliação seria realizada em 2017 (LIU, MEYER e HOGAN, 2010; UNIÃO EUROPEIA, 2010).

A reformulação exige que todos os edifícios construídos após 2020, atendam ao conceito *Nearly Zero Energy Building* (NZEB), ou seja, tenham exigência energética quase nula, significando um desempenho energético elevado onde quase toda a energia consumida é obtida de fontes renováveis geradas nas proximidades. Tal exigência deverá ser cumprida pelos edifícios públicos após 2018 (LIU, MEYER e HOGAN, 2010; UNIÃO EUROPEIA, 2010).

Já pensando nos próximos passos, a Comissão Europeia em novembro de 2016 apresentou um pacote de medidas para manter a competitividade da UE, uma vez que a transição para energias limpas está mudando os mercados globais de energia. A Comissão pretende que o bloco conduza a transição para energia limpa e não somente se adapte a esta fonte de energia. Desta forma, a UE comprometeu-se a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em pelo menos 40% até 2030, simultaneamente modernizando a economia, gerando emprego e crescimento para todos os cidadãos europeus. Na medida proposta são apresentados três objetivos principais: dar prioridade à eficiência energética, assumir a liderança mundial nas energias renováveis e estabelecer condições equitativas para os consumidores (COMISSÃO EUROPEIA, 2016).

Entre os programas mundiais de avaliação energética de edificações, recebe destaque o português, com certificações amplamente difundidas e consolidadas (TELLES, 2016). Pela experiência portuguesa no processo de certificação energética de edificações, observa-se a necessidade de maior apoio aos programas de eficiência energética, garantindo a sua obrigatoriedade (OLIVEIRA, 2013).

O Sistema de Certificação Energética dos Edifícios de Portugal, é obrigatório para todas edificações novas, sujeitas a reformas e existentes para contratos de venda e aluguel, totalizando 1.376.028 etiquetas expedidas desde sua implantação 08 de janeiro de 2018 (ADENE, 2018).

## 5 I PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), iniciou, em 1984, a discussão com a sociedade brasileira sobre a criação de programas de avaliação da conformidade com foco no desempenho energético. Foi o primeiro passo para chegar ao que hoje é conhecido como Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PROCEL INFO, 2017).

O Brasil sofreu uma crise energética no início do Séc. XXI devido à escassez de chuvas, que prejudicou o funcionamento pleno das hidroelétricas, e, além disso, não contava com uma quantidade suficiente de fontes alternativas para geração de energia (BOTTAMEDI, 2011). Em resposta, o governo brasileiro publicou em 17 de outubro de 2001 a Lei N°10.295, conhecida como Lei da Eficiência Energética (BRASIL, 2001a), e regulamentada pelo Decreto N° 4.059, em 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b). Tais documentos deram reforço jurídico para os diversos programas de avaliação energética vinculados ao PBE, que se encontravam em diferentes fases de implementação, alguns com etiquetagem compulsória e outros visavam a sua obrigatoriedade.

Em 2003, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) criou um subprograma voltado especificamente para as edificações, o Procel Edifica. No ano de 2005, o Procel foi nomeado responsável pela Secretaria Técnica de Edificações, para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética. No ano seguinte, o INMETRO criou a Comissão Técnica que definiu os critérios para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações (PROCEL INFO, 2017).

Foram lançados em 2009 os primeiros documentos do PBE Edifica, denominados Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC). No ano seguinte, foram lançados os Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (PROCEL INFO, 2017).

A etiquetagem de edificações possibilita aos consumidores o conhecimento do nível de eficiência energética do imóvel, tornando-se uma ferramenta importante na tomada de decisão no momento de compra ou aluguel de um imóvel, além de promover a busca por edificações mais eficientes e redução no consumo de energia elétrica. Para o governo brasileiro, é um instrumento fundamental tanto para a análise do desempenho energético como para auxílio na melhoria de programas e regulamentações para promoção da eficiência energética nas edificações do país (ELETROBRÁS, INMETRO e CB3E, 2013).

No ano de 2016, o Brasil consumiu 520,03 TWh de eletricidade, sendo as

edificações responsáveis por aproximadamente 51% deste consumo, considerando os setores residencial com 25,6%; comercial com 17,2%; e público com 8,3% (EPE,2017).

Um potencial de redução de 30% no consumo de energia elétrica é estimado para as edificações que efetuarem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética e em até 50% para os novos edifícios que considerarem alternativas de eficiência energética desde a fase de projeto (PROCEL INFO, 2017).

Na Instrução Normativa N°02 de 2014 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), são definidas as regras para a utilização da ENCE em projetos de novas edificações públicas federais ou que recebam *retrofit*. Projetos de novas edificações devem, obrigatoriamente, obter a ENCE geral classe “A” e obras de *retrofit* devem ser feitas visando à obtenção da ENCE parcial classe “A” para o quesito reformado, salvo casos específicos de inviabilidade (MPOG, 2014).

Além dos edifícios públicos federais, outras categorias tendem a sair da etiquetagem voluntária para a obrigatória. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), publicado em 2011, a regulamentação deve transformar em compulsória a ENCE para demais prédios públicos em um horizonte de 10 anos, edifícios comerciais e de serviços em 15 anos e residenciais em 20 anos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

Desde 2012 foi criado um acordo entre Brasil e Portugal para a etiquetagem em edificações, que pode ajudar a implantação e desenvolvimento do programa brasileiro, visto que a Agência para Energia de Portugal (Adene) detém um conhecimento prático, raro e reconhecido mundialmente na implementação de certificação energética em edificações. (PROCEL INFO, 2018).

A partir de 2014, o Procel Edifica e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações têm planejado uma mudança do método de avaliação do PBE Edifica. A nova versão dos regulamentos deve ser lançada em meados de 2018 e terá como principal mudança a apresentação do consumo de energia primária da edificação, assim como acontece em Portugal e diversos países da União Europeia (CB3E, 2017).

A atualização fornecerá o consumo real da edificação, auxiliando o consumidor na tomada de decisão na escolha e planejamento de seu imóvel. A proposta surgiu devido às limitações do atual método prescritivo do RTQ-C. A avaliação será baseada no consumo de energia primária e compara a edificação considerando suas características reais com a mesma edificação através de valores de referência, que são equivalentes a classe D da etiqueta de eficiência energética (CB3E, 2017).

O PBE Edifica, que tem caráter voluntário com exceção dos edifícios públicos federais, soma um total de 4.753 etiquetas expedidas desde a implantação do programa de etiquetagem até a atualização de 03 de janeiro de 2018 (INMETRO,

2018).

Na figura 3 são apresentadas a atual ENCE geral de projeto e a primeira página da ENCE geral de projeto proposta pela atualização, para edificações comerciais, de serviços e públicas.

As bonificações que atualmente podem elevar a classificação da edificação serão retiradas e passarão a ser consideradas no consumo total de energia primária da edificação. A avaliação dos sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) realizada por equivalentes numéricos ponderados de consumo em kWh será substituída por uma classificação que analise a eficiência energética da edificação em uma escala baseada no consumo de energia primária (kWh/ano). No caso de geração de energia local por fonte renovável, este valor será descontado do total do consumo de energia primária. A classe energética D será estabelecida como valor de referência. O certificado ainda apresentará informações do uso racional de água e emissões de dióxido de carbono (INMETRO, 2010; CB3E, 2017).

Na figura 4 são apresentadas a atual ENCE de projeto e a primeira página da ENCE de projeto proposta pela atualização, para edificações residenciais.

Também serão excluídas as bonificações, que farão parte do cálculo do consumo de energia primária. As avaliações de desempenho de verão e inverno também serão desconsideradas e substituídas por uma escala percentual informativa de horas ocupadas de conforto. O aquecimento de água avaliado atualmente, será incluído e descontado no cálculo de consumo de energia primária da edificação. Ainda, serão apresentados o percentual de energia gerada por fontes renováveis locais, as emissões de CO<sub>2</sub> e o percentual de água economizada pelo uso racional (CB3E, 2017).

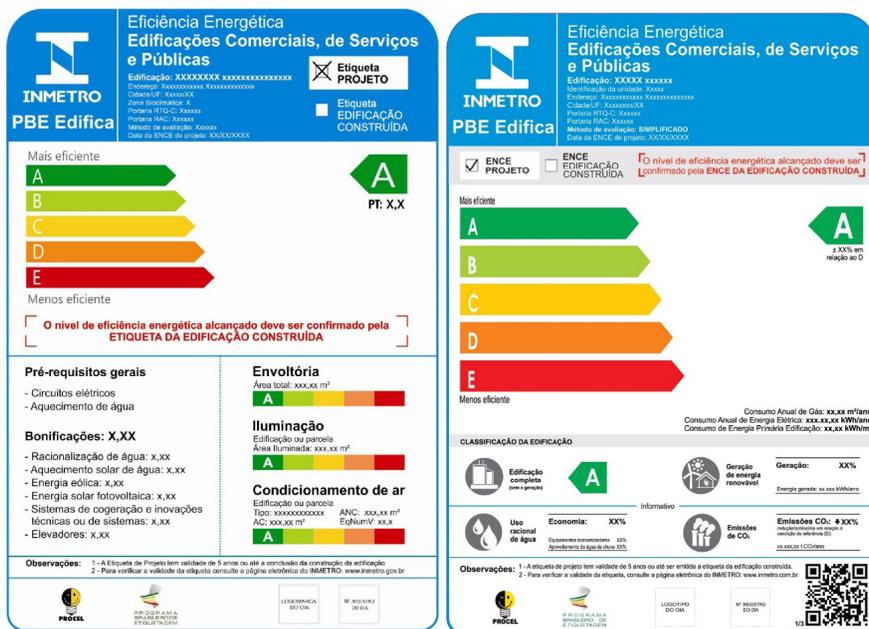


Figura 3: Modelo da ENCE atual e ENCE proposta pela atualização de Edificações comerciais, de serviços e públicas.

Fonte: INMETRO (2013); CB3E (2017).

Os documentos disponíveis para consulta pública com as propostas de atualização do método para a avaliação da eficiência energética em edificações com base na energia primária se limitam a questões técnicas e não apresentam, até este momento, recomendações de mudanças estruturais na aplicação da etiquetagem, como, por exemplo, em relação a obrigatoriedade da certificação energética de edifícios no Brasil (CB3E, 2017).

## 6 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do alto consumo de eletricidade no Brasil e sendo as edificações responsáveis por, aproximadamente, 51% deste consumo, fica evidente a necessidade da aplicação de requisitos regulatórios, como as certificações energéticas em edificações, que promovem e estimulam a melhoria da eficiência energética, benéfica tanto para o governo como para o consumidor final. A necessidade de constante atualização de metas e normas, a exemplo da UE, indica que a revisão no PBE Edifica é fundamental para o avanço destas certificações, em busca de um produto, ou seja, uma ENCE, mais amigável para o público e que além de apresentar uma estimativa real de consumo energético, trará informações sobre

as emissões de CO<sub>2</sub>, uso racional de água e geração local de energia por fontes renováveis. Todavia, ainda será necessário estabelecer mudanças estruturais na aplicação da etiqueta, visando principalmente a sua obrigatoriedade, a fim de obter resultados significativos.

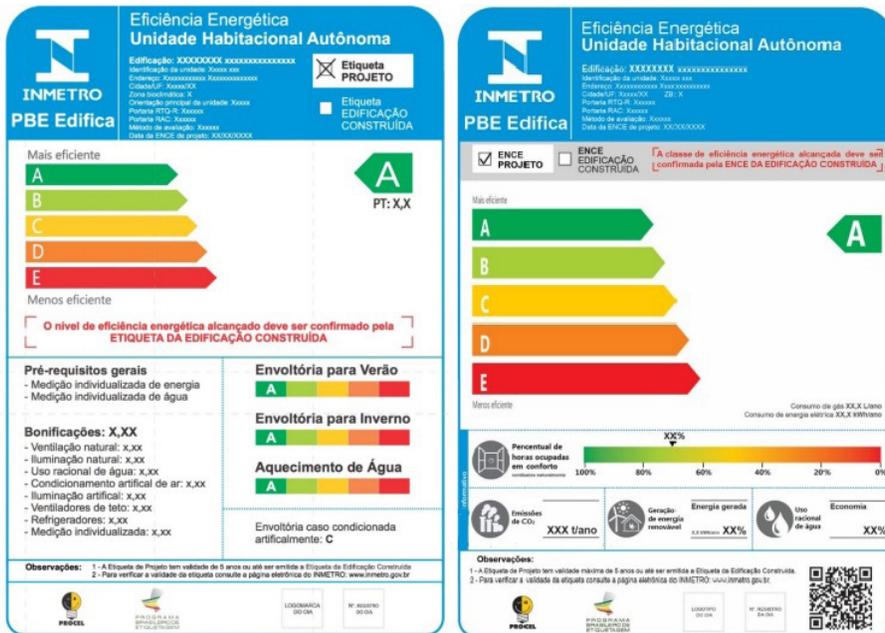


Figura 4: Modelo da ENCE atual e ENCE proposta pela atualização de Edificações residenciais.

Fonte: INMETRO (2013); CB3E (2017).

## REFERÊNCIAS

ADENE – Agência para Energia. **Certificados Energéticos emitidos por tipo de edifício.** Disponível em: <<http://www.adene.pt/indicador/certificados-energeticos-emitidos-por-tipo-de-edificio>>. Acesso em 09 de janeiro de 2018.

ASHRAE. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* Disponível em: <<https://www.ashrae.org/>>. Acesso em 28 de abril de 2017.

ASSIS, E. S.; PEREIRA, E. M. D. ; SOUZA, R. V. G. ; DINIZ, A. S. A. C. **Habitação social e eficiência energética: um protótipo para o clima de Belo Horizonte.** In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2007, Vitória. Anais do II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Vitória: Associação Brasileira de Eficiência Energética (ABEE)/Grupo de Eficiência Energética da UFES, 2007. v. 1. p. 1-7.

BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis: aplicação do programa de etiquetagem de edificações**. 2011. 179p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a.

\_\_\_\_\_. **Decreto n. 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n° 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b.

BUGES, N. L. **Aplicabilidade da etiqueta de edificações do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Mato Grosso do Sul**. 2014. 123p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. 2014.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, v.10, p. 7–26, 2010.

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Atualização e melhorias nos regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações**. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016>>. Acesso em 30 de dezembro de 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, 2002.

\_\_\_\_\_. **Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Comitê das Regiões e ao Banco Europeu de Investimento – Energias limpas para todos os europeus**. Bruxelas, Bélgica. 2016.

ELETROBRÁS/Procel Edifica; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 12 p. 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017** – ano base 2016. Brasília, DF. 2017.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis**. 2008. 342p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2008.

HARVEY, L. D. D. **A handbook on low-energy buildings and district-energy systems, fundamentals, techniques and examples**. Earthscan, Londres. 2006.

HUNN, B. D. **35 Years of Standard 90.1**. *ASHRAE Journal*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. March, 2010.

IEA – *International Energy Agency*. **Key world energy statistics 2017**. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>>. Acesso em 29 de dezembro de 2017.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA.

**Portaria Nº 372**, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Públicos. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **Portaria Nº 50**, de 01 de fevereiro de 2013. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Tabelas de consumo/eficiência Energética - Edificações**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/edificacoes.asp>>. Acesso em 09 de janeiro de 2018.

JANDA, K. B. **Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update**. *European Council for an Energy Efficient Economy Summer Study, Proceedings*. 2009.

LIU, F.; MEYER, A. S.; HOGAN, J. F. **Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries: Global Experiences and Lessons from Early Adopters**. *World Bank Working Paper*, nº204. Washington. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**; Premissas e Diretrizes Básicas, 2011.

MPOG - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa Nº 02/2014**. Brasil, 2014.

OLIVEIRA, L. S. **Gestão energética de edificações públicas no Brasil**. 2013. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2013.

PROCEL INFO – Eficiência Energética nas Edificações. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/> >. Acesso em 16 de março de 2017.

\_\_\_\_\_. Acordo Internacional para Etiquetagem em Edificações. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=&params=itemID=%7BBE7FF463-B84D-419F-A332-E6068F558150%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D#>>. Acesso em 05 de janeiro de 2018.

TELLES, C. P. **Proposta de simplificação do RTQ-R**. 2016. 118 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação), 2010.

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE USANDO O MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADA À INSTALAÇÃO DE UM SFCR

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 01/10/2020

### Bruno Polydoro Cascaes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre – RS  
<https://orcid.org/0000-0001-5267-8612>

### Letícia Jenisch Rodrigues

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS  
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0770>

### Paulo Smith Schneider

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre - RS  
<https://orcid.org/0000-0002-6667-6156>

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças “in base-case assumptions”, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. O problema decisório desse estudo é a aquisição de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada em Porto Alegre. A variável dependente é o valor presente líquido (VPL). As variáveis independentes selecionadas, a partir de uma análise de sensibilidade preliminar, são as seguintes: o custo unitário dos módulos; o valor do kWh; a potência instalada; a compensação em créditos pela energia extra gerada (net-metering); a taxa mínima de atratividade (TMA);

e irradiação total diária inclinada no plano da latitude em média anual. Na sequência, essas são analisadas via simulação, utilizando o Método de Monte Carlo através do software @ Risk. As distribuições associadas às mesmas são obtidas a partir de dados históricos e de mercado. São realizadas 100.000 simulações, das quais apenas 0,4% resultam em valores negativos de VPL. Da análise do diagrama tornado, é possível observar que a TMA é o fator de maior impacto no VPL, seguida pela potência instalada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Análise de Sensibilidade “in base-case assumptions”, Método de Monte Carlo, Sistema de Compensação em Créditos, Net-metering

### SENSITIVITY ANALYSIS USING THE MONTE CARLO METHOD FOR A PHOTOVOLTAIC SYSTEM CONNECTED TO THE GRID

**ABSTRACT:** This work aims to perform a sensitivity analysis examining the impact of changes “in base-case assumptions”, i.e., evaluating the sensitivity of the dependent variable’s value due to changes in the values of independent variables. The decision problem is the acquisition of a photovoltaic system connected to the grid by a hypothetical small industry located in Porto Alegre. The dependent variable is the net present value (NPV). The independent variables selected, from a preliminary sensitivity analysis, are as follows: the unit cost of the modules; the kWh value; the installed power; the compensation in credits for the extra energy generated (net-

metering); the minimum rate of attractiveness (MRA); and total daily irradiation inclined in the latitude plane in annual average. These variables are analyzed via simulation using the Monte Carlo Method in @Risk software. The distributions associated with them are obtained from historical and market data. 100,000 simulations are carried out, of which only 0.4% result in negative NPV values. From the analysis of the tornado diagram, it is possible to observe that MRA is the factor with the greatest impact on NPV, followed by the installed power.

**KEYWORDS:** Photovoltaic System Connected to the Grid, Sensitivity Analysis in base-case assumptions, Monte Carlo Method, Net-metering.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo dados da IEA (*International Energy Agency* – Agência Internacional de Energia) (2020), a política energética brasileira se compara aos desafios mais urgentes do mundo. Isto porque 45% de sua demanda primária de energia é atendida por energias renováveis, com as hidrelétricas sendo responsáveis por cerca de 80% da produção de eletricidade. Essa dependência, majoritariamente associada aos recursos hídricos, apresenta consequências significativas. Por exemplo, em 2018 durante a escassez de chuvas, quando o país atingiu a marca de quinta maior tarifa de eletricidade do mundo (FELIX, 2018). Esses períodos prolongados de estiagem forçaram a ativação de usinas termoeletricas, cuja operação é mais dispendiosa.

Uma alternativa que vem ganhando espaço é a geração distribuída (GD). Principalmente devido à possibilidade de compensação da energia gerada excedente por créditos que são utilizados no abatimento do valor de tarifas posteriores (*net-metering*). Esse tipo de geração atingiu o patamar de 828 GWh em 2018 (EPE, 2019). A energia solar fotovoltaica tem papel de destaque, sendo responsável por mais de 90% da potência instalada (ANEEL, 2019).

Não obstante, a indústria é o setor que mais consome eletricidade no país, chegando a 37,5% do total consumido no ano de 2019 (EPE, 2019). Contudo, a adesão à GD é baixa no setor, que possui cerca de 10% da potência instalada da categoria (ANEEL, 2019). Dentre as diversas razões para essa característica, uma das principais é a concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades elencadas pelo setor industrial (IDEAL, 2019). Adicionalmente, discussões sobre uma possível revisão nas políticas do modelo de compensação de créditos (ANEEL, 2018) pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aumentaram a desconfiança sobre a viabilidade deste tipo de investimento.

Nesse contexto, faz-se necessária uma análise de sensibilidade e dos riscos envolvidos nesse tipo de investimento, tanto para identificar possíveis causas do baixo uso de SFCR (ROUT et al., 2018), como também para estimar benefícios técnicos e econômicos desses sistemas (REZVANI et al., 2017).

Diferentes estudos acerca da viabilidade da aplicação de energia solar podem ser encontrados na literatura. Todavia, a exemplo de um artigo que analisou o risco de investimento em energia solar térmica no Marrocos (BOUHAL et al., 2018), essas análises costumam levar em conta apenas o VPL, a taxa interna de retorno (TIR) e/ou o tempo de retorno do investimento (payback).

Ainda sobre esse tema, autores apontam que um estudo aprofundado, utilizando o Método de Monte Carlo, é vantajoso perante um modelo que aborde apenas estimativas de VPL ou análises de sensibilidade isoladas (ARNOLD; YILDIZ, 2015). O Método de Monte Carlo é uma ferramenta útil e robusta para a avaliação de tecnologias de energias renováveis, bem como de outros temas relevantes. Isso pode ser observado a partir da expressiva variedade de estudos utilizando esse método. São exemplos de algumas aplicações: otimizar a localização de novas plantas de geração de energia (SHORABEH et al., 2019), otimizar fatores geométricos de coletores (HOSEINZADEH et al., 2018), e avaliar e/ou configurar arranjos de coletores para uso em ambientes residenciais (REZVANI et al., 2017; ROUT et al., 2018), etc.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças in base-case assumptions, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. O problema decisório é a aquisição de um SFCR por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada na cidade de Porto Alegre. Valores de base foram utilizados para a determinação do VPL e posterior análise de sensibilidade do mesmo, frente às suas principais variáveis independentes. Assim, foram determinadas aquelas que produziam maior impacto. Na sequência, essas foram avaliadas utilizando o Método de Monte Carlo, cujo objetivo era apresentar o VPL do projeto, bem como a distribuição dos resultados do mesmo.

## 2 | ASPECTOS GERAIS

Sistemas de GD são definidos, segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2020) como aqueles nos quais a geração ocorre próxima à unidade consumidora (UC). Possuem a vantagem de reduzir a necessidade de investimentos em sistemas de transmissão, e, conseqüentemente, reduzir as perdas associadas. Os SFCR encaixam-se nessa classificação, visto que a energia que não é consumida pela UC é enviada à rede, sendo distribuída a outros usuários.

A Resolução Normativa da ANEEL N°. 482/2012 (ANEEL, 2012) inicia a regulamentação da microgeração e da minigeração de energia elétrica - Geração Distribuída (GD) – no Brasil. Em 2015 essa regulamentação foi revista para simplificar e agilizar o processo de geração de energia, utilizando energia solar - a

Resolução Normativa N°687/2015 (ANEEL, 2015). O sistema de compensação de energia também é chamado de *net metering*. Nesse sistema a UC cede sua energia gerada à distribuidora local, sendo compensada com o consumo de energia elétrica ativa. Essa compensação se dá na forma de créditos, com validade de 60 meses.

Os créditos podem ser utilizados em endereços diferentes, contanto que as UC se encontrem na área de cobertura de uma mesma distribuidora. Para que se enquadrem no sistema de compensação de energia, as unidades geradoras têm suas potências limitadas a 75 kW, para o caso de microgeração fotovoltaica, e a 5 MW, no caso de minigeração fotovoltaica.

### 3 I ESTUDO DE CASO

Para este trabalho, a indústria localizada em Porto Alegre está sujeita às tarifas de energia elétrica do grupo B3 (CEEE, 2019). O cálculo do preço final da energia foi realizado com base em dados históricos (CEEE, 2019), obtendo-se a média dos últimos dez anos. O SFCR avaliado é composto por módulos fotovoltaicos da marca *Canadian Solar*, modelo CS3U-385, com eficiência de 19,41 % (Canadian Solar, 2019). O preço dos módulos foi obtido através de pesquisa em sites de distribuidores (IDEAL, 2019; MCS, 2019; Cineshop, 2019). O montante total, da instalação e do SFCR, foi estimado de maneira que o valor dos módulos equivalesse a 40% do custo total do sistema (IDEAL, 2019). Como fator limitante, foi considerado que o sistema pertence à categoria de microgeração, com potência instalada inferior a 75 kWp (ANEEL, 2015).

Por fim, alterações na política do modelo de compensação de energia também foram consideradas. Partiu-se do caso atual, no qual o valor da energia entregue à rede tem o mesmo valor que a energia consumida posteriormente. A partir dessa igualdade, foi se reduzindo a relação até que o valor da energia entregue à rede fosse equivalente a 70% do valor da energia consumida da rede. Ou seja, cada dez créditos gerados equivalem a sete créditos consumidos posteriormente.

#### 3.1 Análise de sensibilidade

A fim de se determinar os fatores de maior impacto no VPL, foi realizada uma análise de sensibilidade preliminar - um método quantitativo que permite observar o efeito da mudança de cada variável independente na variável dependente. Para sua implementação, segundo KARANOVIC et al. (2010), deve-se determinar um valor base para cada uma das variáveis independentes, Tab. 1. Desta forma, quando da avaliação através do Método de Monte Carlo, pode-se evitar um número excessivo de variáveis independentes que apresentem pouca influência na variável dependente. Esses valores também foram usados como ponto central na simulação.

O VPL do projeto, utilizando os valores base, foi calculado em R\$ 416.140,63. Em seguida, esses valores base foram variados individualmente, a uma mesma taxa, enquanto os demais permaneceram constantes. Assim, a influência de cada um na variável dependente pôde ser observada, Fig. 1. Quanto mais horizontal é a linha de sensibilidade, menos impacto aquela variável tem no VPL.

Assim, tanto os custos com operação e manutenção (O&M), quanto a inflação apresentaram baixa influência no VPL, Fig. 1. Por outro lado, a TMA do investimento apresentou a maior influência, seguida pelo valor do kWh, a irradiação total diária inclinada no plano da latitude em média anual e a compensação em créditos pela energia extra gerada (*net-metering*). O custo dos módulos e a potência instalada também influenciaram de maneira significativa, de forma que também foram incluídos na simulação utilizando o Método de Monte Carlo. Por fim, cabe salientar que o VPL se manteve positivo em todos os casos avaliados na análise de sensibilidade preliminar.

Variável de entrada	Valor
Custo do módulo	R\$ 916,30
Valor do kWh	R\$ 0,7785
Potência instalada	60 kW <sub>p</sub>
Custos com Operação e Manutenção (O&M)	1%
Compensação de créditos ( <i>net-metering</i> )	90%
TMA	15%
Inflação	5%
Irradiação média diária	4.228 kWh/m <sup>2</sup>

Tabela 1 – Varáveis independentes e respectivos valores base.

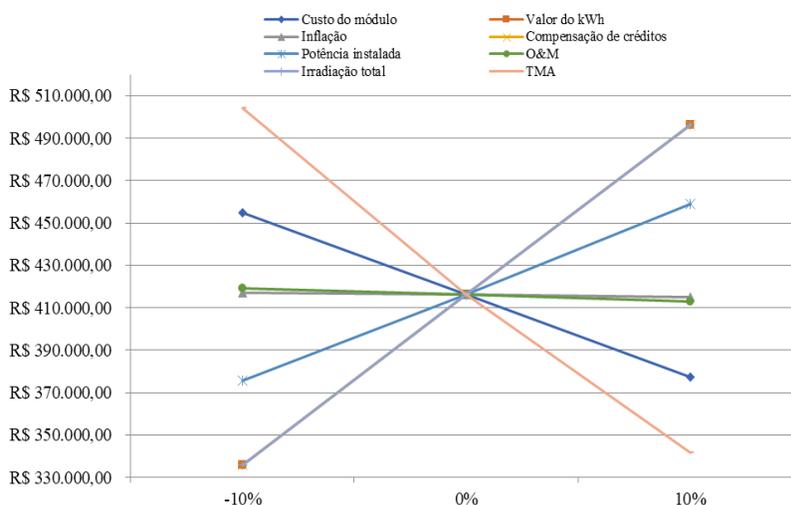


Figura 1 – Análise de sensibilidade preliminar do VPL em relação às variáveis independentes.

### 3.2 Simulação utilizando o Método de Monte Carlo

O Método de Monte Carlo consiste em um algoritmo computacional que randomiza as amostras, segundo distribuições de probabilidade, para calcular a variável dependente. Ele tem aplicações em problemas físicos, matemáticos e financeiros (HOSEINZADEH et al., 2018). A principal vantagem desse método, frente à análise de sensibilidade preliminar, é a possibilidade de se testar inúmeras combinações das variáveis independentes, simultaneamente, gerando uma distribuição para o valor esperado da variável dependente (KARAVONIC, 2010).

A simulação foi realizada utilizando o software @RISK, o qual executa a análise através do Método de Monte Carlo. Os resultados gerados são organizados em planilhas eletrônicas (PALISADE, 2019). As variáveis independentes testadas foram determinadas pela análise de sensibilidade preliminar, apresentada na seção anterior. O intervalo, e a distribuição de probabilidade, utilizado nas mesmas encontra-se detalhado na Tab. 2. A Fig. 2 apresenta um esboço da metodologia utilizada.

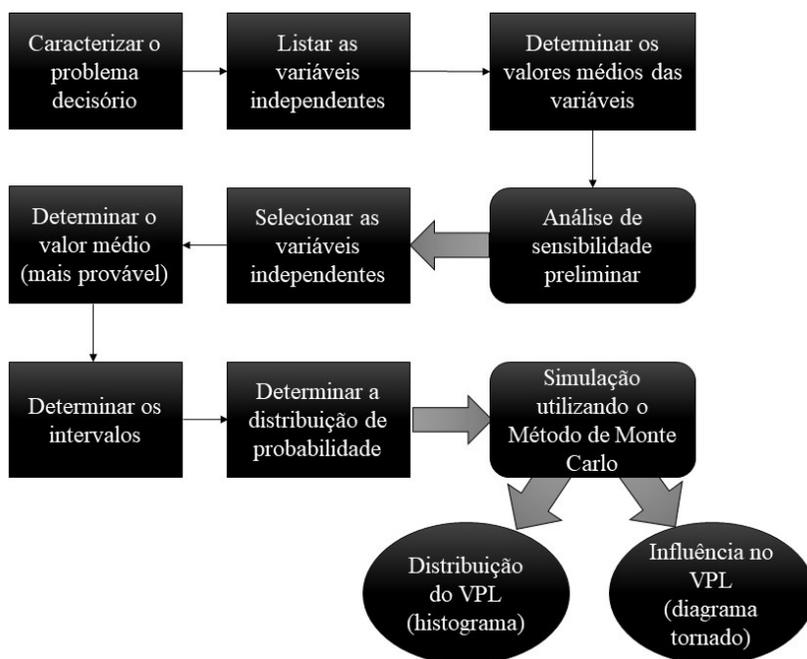


Figura 2 – Esboço da metodologia utilizada para a análise de sensibilidade.

Após 100.000 iterações, o software apresenta a distribuição de valores para a variável dependente, Fig. 3, bem como os valores máximo, mínimo e médio da

mesma. Uma informação importante, quando se observa a Fig. 3, é que existe um distanciamento significativo entre o valor do VPL médio (R\$ 367.237,67) e o VPL máximo (R\$ 1.645.879,06). Outro ponto que merece destaque é o valor mínimo encontrado para o VPL (- R\$ 125.415,18), o qual é negativo, indicando uma situação na qual o projeto não se paga.

Variável	Distribuição	Fonte dos dados
Custo do módulo	Triangular	Fornecedores (Ideal, 2019; MCS, 2019; Cineshop, 2019)
Valor do kWh	Normal	CEEE (2019)
Compensação de créditos	Triangular	ANEEL (2018)
Potência instalada	Triangular	ANEEL (2015)
TMA	Triangular	Instituto IDEAL (2019)
Irradiação média diária	Normal	Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017)

Tabela 2 – Distribuição, e fonte dos dados, utilizada em cada variável independente.

Contudo, a ocorrência de valores negativos foi em apenas 0,4% dos casos, ou seja, 400 iterações de uma amostra de 100.000, indicando que há grande probabilidade do projeto se pagar ao longo do período avaliado, 20 anos. Por outro lado, o distanciamento significativo entre o valor médio e o máximo pressupõe que, na melhor das hipóteses, o VPL ao final do período seria equivalente a quatro vezes e meia o valor do VPL médio.

Outro resultado da simulação é a classificação das variáveis independentes segundo seu efeito na variável dependente. Esta informação é apresentada em um diagrama tornado, Fig. 4, no qual se pode observar que a TMA apresenta a maior influência no VPL. Em seguida, a potência instalada, a compensação em créditos pela energia extra gerada (*net-metering*) e o custo dos módulos apresentam contribuições relevantes. O valor do kWh figura como a quinta variável de maior impacto, sendo seguido pela a irradiação total diária inclinada no plano da latitude

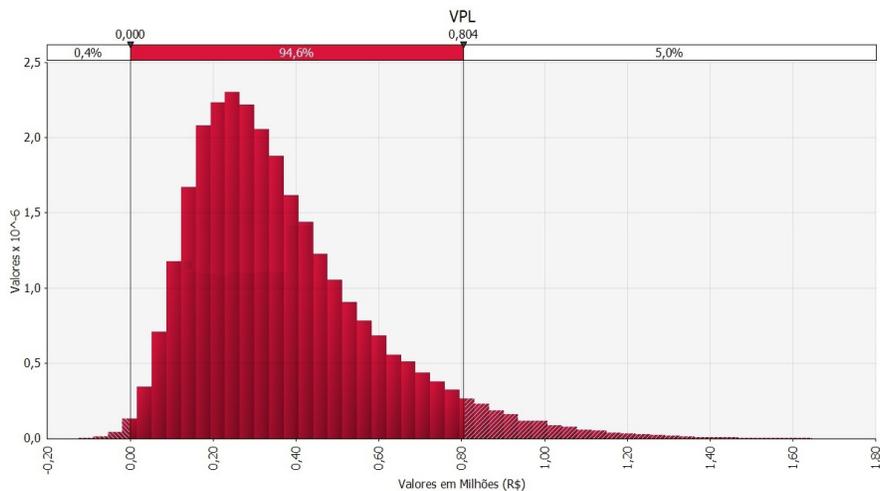


Figura 3 – Distribuição dos valores de VPL obtidos via Simulação de Monte Carlo.

Da análise de sensibilidade preliminar também foi possível observar que a TMA é a variável de maior impacto. Essa característica corrobora a assertiva de baixa adesão ao sistema de GD devido à concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades elencadas pelo setor industrial. Ou seja, a viabilidade da utilização de módulos fotovoltaicos na indústria depende do seu perfil de investimento, de maneira que quanto menor for a TMA de outras opções de investimento, mais atraente será a aquisição de um SFCR.

Por outro lado, a ordem de importância das demais variáveis independentes não foi a mesma. Pelo diagrama tornado, a segunda variável é a potência instalada, a qual está diretamente relacionada à quantidade de módulos fotovoltaicos do sistema. Na análise preliminar, o valor do kWh ocupava essa posição. As demais variáveis também não aparecem na mesma ordem do diagrama. Assim, tem-se que o valor do SFCR é o segundo parâmetro mais impactante no VPL.

Não obstante, a análise de sensibilidade preliminar não previu um valor de VPL negativo, ou seja, aquela situação na qual o investimento não se paga. Embora a análise utilizando o Método de Monte Carlo tenha previsto essa situação, ela ocorreu em apenas 0,4% dos resultados gerados.

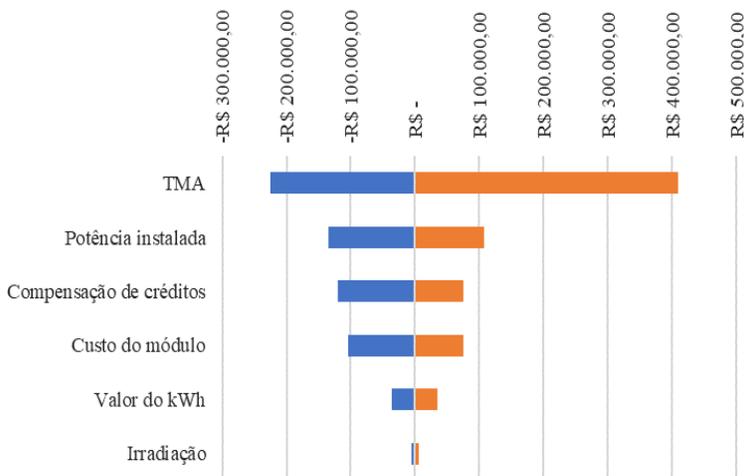


Figura 4 – Diagrama tornado para o VPL.

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise de sensibilidade examinando o impacto de mudanças “*in base-case assumptions*”, i.e., avaliando a sensibilidade do valor da variável dependente devido a mudanças nos valores de variáveis independentes. A aquisição de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) por uma indústria de pequeno porte hipotética localizada em Porto Alegre foi utilizada como problema decisório.

As variáveis independentes foram selecionadas, a partir de uma análise de sensibilidade preliminar, a qual indicou a TMA como sendo a variável de maior impacto no VPL. O software utilizado para as simulações foi o @Risk, com a opção do Método de Monte Carlo para as randomizações. Foram executadas 100.000 simulações, das quais foram encontrados valores negativos para o VPL em apenas 0,4%.

Conforme esperado, a utilização do método estocástico gerou resultados mais robustos, permitindo a avaliação do impacto de cada variável independente no VPL. Contudo, a análise preliminar também indicou a TMA como sendo a variável de maior importância.

Esse comportamento corrobora a baixa adesão ao sistema de GD devido à concorrência do investimento em um SFCR com outras prioridades do setor industrial. A viabilidade da utilização de SFCR na indústria depende do seu perfil de investimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Vapor e Refrigeração (LAFRIG), ao Laboratório de Ensaios Térmicos e Aerodinâmicos (LETA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PROMEC) da UFRGS. O primeiro autor também agradece ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, na figura da Prof. Dra. Joana Siqueira de Souza por disponibilizar o *software* @RISK ao longo da disciplina de “Análise de Riscos”, no segundo trimestre de 2019, durante o qual este estudo foi realizado. (EPE, 2019)

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Resolução Normativa nº 687 de 2015 da ANEEL. **ANEEL**, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em: 17 nov. 2019

ANEEL. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. **Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº0004/2018-SRD/SGC/SMA/ANEEL**, 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas>> Acesso em: 17 nov. 2019

ANEEL. **Outorgas e Registros de Geração: Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 2019. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD\\_Estadual.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

ARNOLD, Uwe; YILDIZ, Özgür. **Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures - A Monte Carlo Simulation approach**. Renewable Energy, 2015.

BOUHAL, T. et al. **Technical assessment, economic viability and investment risk analysis of solar heating/cooling systems in residential buildings in Morocco**. Solar Energy, 2018.

CANADIAN SOLAR. **Solar Modules**. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/productsforutility/>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

CEEE. **Tarifas e custos dos serviços**. 2019. Disponível em: <[http://www.ceeel.com.br/pportal/ceeel/Archives/Upload/Folder\\_Grupo\\_B\\_2018\\_60788.pdf](http://www.ceeel.com.br/pportal/ceeel/Archives/Upload/Folder_Grupo_B_2018_60788.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

CINESHOP. **Energia Solar**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.cineshop.com.br/item/Painel-Solar-365w-Canadian-Monocristalino-Inmetro-18.4-em-eficiencia.html>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2019: Ano base 2018. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2019.**

FELIX, Rosana. **Brasil caminha para ter a energia mais cara do planeta**. 2018. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/brasil-caminha-para-ter-a-energia-mais-cara-do-planeta-86tyszyyp8czy77fbcvtovdsq/>> Acesso em 10 nov. 2019.

HOSEINZADEH, Hamed; KASAEIAN, Alibakhsh; BEHSHAD SHAFIL, Mohammad. **Geometric optimization of parabolic trough solar collector based on the local concentration ratio using the Monte Carlo method**. Energy Conversion and Management, 2018.

IDEAL. **O mercado brasileiro de Geração Distribuída fotovoltaica**. 6. ed. Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/o\\_mercado\\_brasileiro\\_de\\_gera\\_o\\_distribu\\_da\\_fv\\_-\\_e](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera_o_distribu_da_fv_-_e)> Acesso em: 27 nov. 2019.

IEA. **IEA - Brazil**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/countries/brazil>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

INEE. **Sobre GD e Cogeração**. 2020. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/forum\\_sobre\\_gd\\_cg.asp?Cat=gd](http://www.inee.org.br/forum_sobre_gd_cg.asp?Cat=gd)>. Acesso em: 13 jan. 2020.

KARANOVIC, Goran. **Techniques for Managing Projects Risk in Capital Budgeting Process**. UTMS Journal of Economics, v. 1, n. 2, p. 55–66, 2010.

MCS. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-fotovoltaico-385w-canadian-solar-monocristalino-half-cell-79561>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

PALISADE. **@RISK**. Versão 8.0. Palisade, 2019.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro da Energia Solar**, 2.ed. São Paulo: INPE, 2017.

REZVANI, S. et al. **Techno-economic and reliability assessment of solar water heaters in Australia based on Monte Carlo analysis**. Renewable Energy, 2017.

ROUT, Auroshis; SAHOO, Sudhansu S.; THOMAS, Sanju. **Risk modeling of domestic solar water heater using Monte Carlo simulation for east-coastal region of India**. Energy, v. 145, p. 548–556, 2018.

SHORABEH, Saman Nadizadeh et al. **A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran**. Renewable Energy, v. 143, p. 958–973, 2019.

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO EM PSCAD DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA DE LARGA ESCALA

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 30/09/2020

### Alysson Augusto Pereira Machado

Instituto Federal do Espírito Santo  
Linhares – Espírito Santo  
<http://lattes.cnpq.br/5711591914075115>

### Nicole Campos Foureaux

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9024089358237613>

### Igor Amariz Pires

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9412048303683562>

### Sidelmo Magalhães Silva

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4356279128408928>

### Braz de Jesus Cardoso Filho

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8287627098176443>

### José Antônio de Souza Brito

Grupo Neoenergia (COELBA, Celpe, Consern)  
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro  
<http://lattes.cnpq.br/8543891208493048>

**RESUMO:** Este artigo descreve modelagem e simulação de um sistema fotovoltaico trifásico conectado ao sistema elétrico. Dados reais

disponíveis da instalação da usina São Lourenço da Mata foram utilizados para a modelagem e validação do sistema. Um sistema de controle da potência ativa/reactiva injetada na rede pelo conversor baseado em coordenadas d-q é descrito. Utilizando o modelo de simulação desenvolvido na plataforma PSCAD/EMTDC®, foi realizado o cálculo da energia em kWh para um período de tempo no terceiro ano de operação da usina. Os resultados são comparados com a saída de energia estimada no software PVSYST® durante a etapa de projeto da usina. Para a planta utilizada percebeu-se desvios da energia estimada na etapa de projeto. A plataforma de simulação proposta é uma ferramenta auxiliar de análise, que pode ser utilizada tanto na etapa de projeto para se obter resultados mais precisos, quanto durante a operação do sistema, permitindo estudos mais aprofundados das condições de operação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar, Modelo PSCAD, Viabilidade econômica de usina fotovoltaica.

### PSCAD MODELING AND SIMULATION OF A LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC PLANT

**ABSTRACT:** This paper describes the modeling and simulation of a three-phase connected photovoltaic system. Real data available from São Lourenço da Mata installation power plant was the basis for model construction and validation. A control system of active/reactive power injected into the grid based on dq-component is presented. Using the simulation model developed in the PSCAD/EMTDC® platform, the energy in kWh of four months of operation was calculated

for this power plant. These results were compared with the estimated energy provided by PVSYST® during the power plant design stage. For the power plant under study, a deviation in the estimated energy in the design stage was observed. The proposed simulation platform is an auxiliary analysis tool that can be used either in the design stage to obtain accurate results or during the system operation enabling in-depth studies of the operation conditions.

**KEYWORDS:** Solar Energy, PSCAD model, Economic viability of photovoltaic plant.

## 1 | INTRODUÇÃO

Plantas fotovoltaicas (PV) têm gerado grande interesse nas últimas décadas. A energia limpa e o avanço das smart-grids são umas das razões para o crescimento da utilização da energia fotovoltaica e a inserção da geração distribuída na matriz energética.



Figura 1- Vista aérea da usina fotovoltaica  
São Lourenço da Mata.

O Brasil possui uma localização geográfica com grande incidência solar, possuindo assim grande potencial de geração fotovoltaica. Próximo ao estádio Arena Pernambuco em Recife, a usina fotovoltaica São Lourenço da Mata com capacidade instalada de aproximadamente 1 MWp, mostrada na Fig. 1, foi inaugurada no final de 2013. Ela é dividida em uma planta de 890 kW de capacidade instalada e outra experimental de 50 kW. O estudo realizado neste trabalho está concentrado na maior planta, composta por 3360 painéis de 265 Wp Yingli Solar®, modelo YL265C-29b (Yingli Solar, 2010).

O conversor utilizado é o Ingecon Sun® 850M360 Indoor de 917 kW, composto por quatro inversores, cada um possuindo um algoritmo MPPT (Maximum Power Point Tracking) independente (Ingeteam, 2012). Os 3360 painéis são divididos

entre os quatro inversores, cada um contendo 42 strings. As strings são conectadas em paralelo, sendo cada uma constituída de 20 painéis em série. As saídas dos inversores são conectadas em paralelo em um transformador de 360 V/13,8 kV de 1000 kVA que faz a interface para a rede de média tensão. A Tab. 1 resume as características das conexões nos inversores.

Sistema PV instalado						
	# de strings	Pmpp [W]	Vmpp [V]	Impp [A]	Voc [V]	Isc [A]
<b>Entrada DC de cada inversor</b>	42	222,6 k	620	359,1	780	375,1
Informações de catálogo do conversor						
Entrada DC de cada inversor	DC Power [W]		Vmpp [V]	MPP Tracker	Entradas paralelas	
	233 - 273 k		524 - 820	1	4	
Lado AC	Pnominal AC [W]		Vnominal [V]	I <sub>max</sub> [A]	Conexão no grid	
	917 k		360	1,4 k	IT System	

Tabela 1 - Especificações técnicas.

## 2 I MODELAGEM DOS ELEMENTOS DA USINA FOTOVOLTAICA

### 2.1 Modelagem do painel fotovoltaico e da string

A Tab. 2 contém os parâmetros elétricos e térmicos do painel YL265C-29b em condições padrão (STC). Os fabricantes de painéis fotovoltaicos fornecem apenas alguns parâmetros elétricos e térmicos que guardam parcialmente as características do painel. Por se tratar de um conjunto de elementos não lineares, as curvas características de potência em função da temperatura e radiação solar são não lineares.

O circuito equivalente de uma célula fotovoltaica é representado na Fig. 2. Diversos estudos de modelos para células fotovoltaicas existem na literatura. Em Villalva et. al. (2009a) e Villalva et. al. (2009b) foi proposto um algoritmo de modelagem que se baseia apenas nos parâmetros de datasheet e que alcança boas aproximações iterativamente. A relação entre a tensão e corrente da célula em diferentes condições de irradiação solar e temperatura pode ser expressa com base na Eq. (1) (Rahman et. al., 2011):

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkTn_s}} - 1 \right] + \frac{V + IR_s}{n_s R_p} \quad (1)$$

onde  $V$  e  $I$  são a tensão e corrente de saída da célula fotovoltaica, respectivamente. O parâmetro  $n_s$  é o número de células em série,  $R_s$  é a resistência equivalente série da célula expressa em ohm,  $k$  é a constante de Boltzmann,  $n$  é o fator de idealidade do diodo,  $q$  é a carga do elétron em 'eV',  $R_p$  é a resistência shunt em paralelo expressa em ohm e  $T$  é a temperatura da célula. Na Eq. (1), a fotocorrente  $I_{ph}$  é uma função da irradiação solar  $G$  e da temperatura:

$$I_{ph} = I_{ph(STC)} \left[ 1 + K_i (T - T_r) \right] \frac{G}{G_{STC}} \quad (2)$$

onde na Eq. (2)  $I_{ph(STC)}$  é a fotocorrente de referência nas condições padrão (STC),  $K_i$  é o coeficiente de temperatura da corrente de curto-circuito,  $T_r$  é temperatura de referência e  $G_{STC}$  é irradiação solar de referência da célula.

O PSCAD possui em sua biblioteca um componente de fonte fotovoltaica, em que são configurados os parâmetros de modelo da célula fotovoltaica, mostrado na Fig. 3. Com os dados de *datasheet* do painel e com os parâmetros de resistência série e shunt estimados, facilmente se obtém modelos da curva característica V-I de um painel ou um arranjo de painéis fotovoltaicos. O componente apresenta uma interface gráfica, onde se pode alterar em tempo de simulação dados de irradiação solar e temperatura.

## 2.2 Algoritmo MPPT

Em aplicações fotovoltaicas, a máxima potência que pode ser extraída do módulo depende da irradiação solar e da temperatura, pois estas duas variáveis alteram o ponto de operação na curva V-I que corresponde ao ponto máximo da curva de potência. Desta forma, a tensão nos terminais do painel ou arranjo fotovoltaico precisa ser ativamente controlado para que durante a operação se mantenha o ponto de máxima potência.

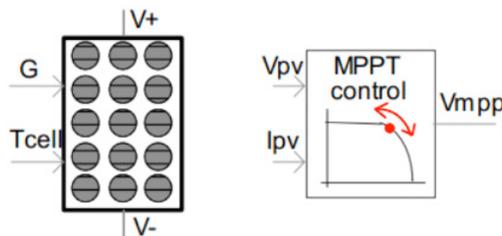


Figura 3- Componentes PV da biblioteca do PSCAD.

Ao longo das últimas décadas, vários algoritmos foram propostos (Hsiao e Chen, 2002), se diferenciando na velocidade de rastreamento, quantidade de sensores, complexidade e capacidade de rastreamento real do ponto de máxima potência (MPP). O PSCAD possui também em sua biblioteca mais recente um componente MPPT, mostrado na Fig. 3, que implementa ambos os algoritmos ‘perturba e observa’ (P&O) e ‘condutância incremental’ (Rajapakse e Muthumuni, 2009). A referência de tensão da saída do algoritmo MPPT é utilizada como referência na malha de controle do conversor. Por meio do controle da potência injetada na rede é possível manter-se o MPP.

Potência de saída	265	[W]
Eficiência do módulo	16,2	[%]
Tensão no MPP ( $V_{MPP}$ )	31,0	[V]
Corrente no MPP ( $I_{MPP}$ )	8,55	[A]
Tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ )	39,0	[V]
Corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ )	8,93	[A]
Tensão máxima	1000	[V]
Coefficiente de temperatura beta de ISC	0,04	[%/K]
Coefficiente de temperatura alpha de VOC	-0,33	[%/K]

Tabela 2 - Parâmetros do painel fotovoltaico em STC (1000 W/m<sup>2</sup> e 25°C).

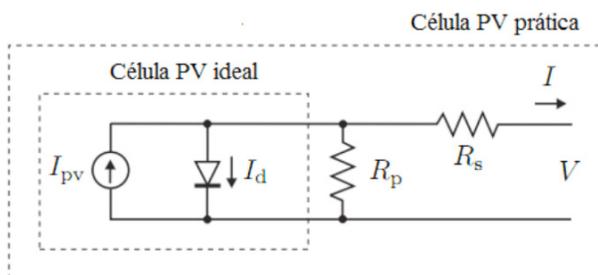


Figura 2- Modelo de um único diodo de uma célula fotovoltaica ideal e prática (Villalva, 2009a).

### 2.3 Conversor Trifásico

A operação do conversor é em modo de controle de corrente em coordenadas  $dq$ . A Transformação de Park permite controlar de forma desacoplada a potência

ativa e reativa, que em regime permanente é obtida de acordo com a Eq. (3) e Eq. (4).

$$P_s(t) = \frac{3}{2}[V_{sd}i_d(t)] \quad (3)$$

$$Q_s(t) = \frac{3}{2}[-V_{sd}i_q(t)], \quad (4)$$

onde  $P_s$  e  $Q_s$  são a potência ativa e reativa, respectivamente,  $V_{sd}$  é tensão da rede no eixo  $d$ , e  $i_d$  e  $i_q$  são as correntes do conversor no eixo  $d$  e  $q$ , respectivamente.

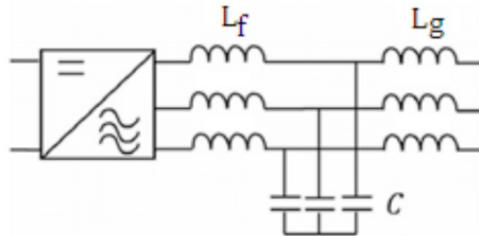


Figura 4- Filtro LCL na saída do conversor.

Um filtro LCL, representado na Fig. 4, é comumente utilizado. O filtro LCL proporciona melhor eficiência na atenuação de componentes harmônicas de alta frequência, além de redução de custo e volume. Porém, o projeto do filtro e o controle do conversor são mais complexos devido aos cuidados para se evitar ressonâncias que causem problemas de estabilidade (Chen e Liu, 2009; Agorreta et. al., 2011).

Em baixa frequência, a influência do capacitor pode ser desprezada, e o filtro LCL é tratado como um filtro L, composto pela soma da indutância dos dois indutores  $L_f$  e  $L_g$  e etapas de projeto para um filtro L convencional podem ser adotadas, segundo Chen e Liu (2009). Entretanto, na região da frequência de chaveamento a frequência de ressonância do filtro LCL deve ser levada em consideração na escolha da capacitância  $C$ , aplicando-se técnicas adequadas de atenuação de ressonância, seja de forma passiva ou ativa (Zhang et. al., 2014). A Fig. 5 mostra o sistema de controle completo do conversor. Controladores PI são comumente utilizados na malha de corrente, e tendo-se uma indutância equivalente  $L$  com resistência equivalente  $R$  no filtro de saída, os parâmetros do controlador podem ser obtidos por (Yazdani e Iravani, 2010):

$$k_p = L/\tau_i, \quad (5)$$

$$k_i = R/\tau_i, \quad (6)$$

onde  $\tau_i$  é a constante de tempo do sistema em malha fechada a ser escolhida. O valor da constante de tempo depende da velocidade requerida do sistema de

controle de corrente em malha fechada, bem como de uma adequada faixa de passagem. Valores entre 0,5 – 5 ms são tipicamente utilizados. A Eq. (7) determina a função de transferência em malha fechada considerando os controladores PI calculados pela Eq. (5) e Eq. (6).

$$\frac{i_d(s)}{I_{dref}(s)} = G_p(s) = \frac{1}{\tau_i s + 1} \quad (7)$$

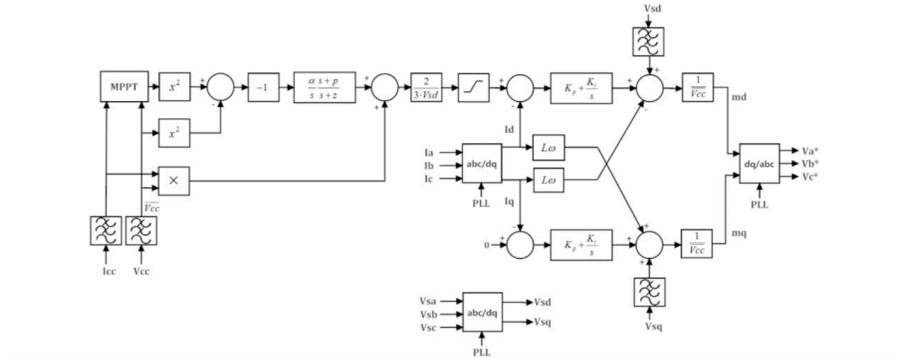


Figura 5- Malha de controle do sistema.

O controle da tensão do barramento c.c. é importante, pois possui relação direta com o ponto de operação. Dependendo da irradiação e da temperatura o MPP se desloca, implicando em um novo valor de tensão. O algoritmo MPPT rastreia essa tensão, gerando uma referência para a malha de controle que regula a tensão do barramento c.c..

A dinâmica do barramento c.c, descrita por Iazdani e Iravani (2010), é composta por  $G_p(s)$  da Eq. (7) e por  $G_v(s)$ , definido na Eq. (8),

$$G_v(s) = \frac{V_{CC}^2(s)}{P_s(s)} = -\left(\frac{2}{C}\right) \frac{\tau s + 1}{s}, \quad (8)$$

onde a constante de tempo  $\tau$  é

$$\tau = \frac{2LP_{ext}}{3V_{sd}^2}. \quad (9)$$

O ganho de malha é descrito pela Eq. (10):

$$L(s) = -K_v(s)G_p(s)G_v(s), \quad (10)$$

onde  $G_p(s)$  e  $G_v(s)$  são dados pelas equações Eq. (7) e Eq. (8), respectivamente. Adicionando também um compensador por avanço de fase com integrador, a estrutura completa do compensador é descrita pela Eq. (11).

$$K_v(s) = \frac{\alpha s + z}{s s + p} \quad (11)$$

O integrador garante erro nulo em regime permanente, enquanto a estrutura de avanço de fase permite aumentar a margem de fase, e com isso garantir estabilidade em todos os pontos de operação da planta. Deve-se calcular os parâmetros do compensador de modo a garantir uma margem de fase adequada para o sistema em malha fechada.

## 2.4 Transformador Trifásico

A conexão da saída dos conversores no ponto de acoplamento comum (PCC) na rede de média tensão via transformador elevador de 360 V/13,8 kV. A potência nominal do transformador é de 1 MVA. Dados de placa do transformador foram utilizados no modelo computacional do PSCAD. A Tab. 3 resume as características do transformador.

Características elétricas			Enrolamento primário		
Potência nominal	1000	[kVA]	Tensão nominal	13800	[V]
Número de fases	3	-	Tensão máxima	15000	[V]
Frequência	60	[Hz]	Enrolamento secundário		
Perdas em vazio a 75 °C	2000 (máximo)	[W]	Tensão nominal	360	[V]
Perdas em carga a 75 °C, referidas às tensões nominais	12000 (máximo)	[W]	Tensão máxima	600	[V]
Corrente de excitação a 75 °C	1,2 (máximo)	%			
Ligação (primário/ secundário)	Estrela/Triângulo	-			

Tabela 3 - Características do transformador

## 3 I RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Baseado na planta real da usina, uma simulação no ambiente PSCAD foi desenvolvida. A Fig. 6 mostra uma visão geral da estrutura da simulação. Os principais blocos da simulação são os arranjos fotovoltaicos, os conversores trifásicos com filtro LCL, o sistema de controle de cada conversor com seu MPPT e malha de controle descrita na seção 2, a PLL para sincronismo com a rede e o transformador trifásico para conexão com a rede em 13,8 kV. O arranjo fotovoltaico de um dos conversores foi modelado de forma expandida para simular situações de sombreamento parcial.

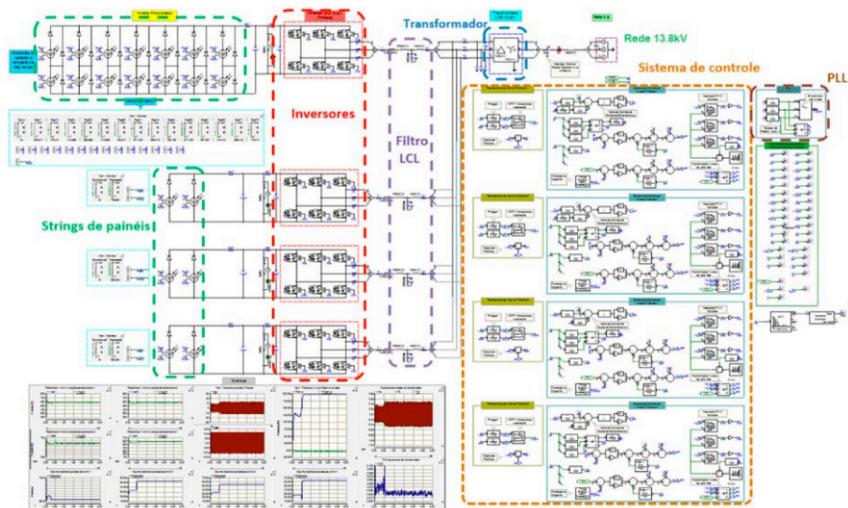


Figura 6- Organização da simulação da usina no PSCAD.

### 3.1 Operação com sombreamento parcial

Com este cenário, foi simulado a operação do sistema sob condições de sombreamento parcial nas strings e variações aleatórias ou seguindo um perfil histórico na irradiação, que emulam uma situação de alta nebulosidade. A temperatura dos painéis é de 50 °C. Os resultados são mostrados na Fig. 7.

O sistema de controle mantém o sistema estável ao longo de todas as variações nas condições de operação. A medida que a potência injetada diminui percebe-se um aumento da taxa de distorção harmônica total (THD) na corrente injetada na rede. Barote, e Marinescu (2014) realizaram um estudo da influência da potência reativa com a qualidade de energia em sistemas de geração distribuída conectados à rede. O controle da potência reativa e a compensação de harmônicos são fundamentais para cumprimento da norma IEEE 1547.1, que regulamenta o conteúdo harmônico máximo para injeção de potência na rede, em toda a extensão de irradiação solar.

Em um painel solar prático, para um certo número de células solares, existem um diodo conectado em paralelo, denominado diodo de bypass. Ele é necessário justamente nesta condição de sombreamento parcial, pois a máxima corrente ficaria limitada pela célula ou grupo de células com menor irradiação, diminuindo drasticamente a potência extraída, que não condiz com a irradiação média recebida. Esses diodos foram externamente adicionados no modelo das strings. Porém, mesmo com o diodo, perde-se capacidade de operar em pontos de máxima potência como o da Fig. 8, pois a tensão deste ponto é muito próxima ou até mesmo inferior à tensão de pico do ponto de acoplamento comum. Com isso, a utilização eficiente

da planta solar é comprometida em condições de sombreamento parcial ou baixa radiação global.

#### 4 | VALIDAÇÃO DO MODELO

afim de validar o modelo de simulação desenvolvido no PSCAD/EMTDC, dados reais de irradiação solar e temperatura obtidos de uma estação solarimétrica da usina foram utilizados. Os resultados de potência injetada na rede do sistema de supervisão (SCADA) foram comparados com dados de potência injetada em simulação. A temperatura do painel ( $T_{pv}$ ) é influenciada pela irradiação solar, sendo aproximada pelo fator de correção da Eq. (12).

$$T_{pv} = T_{ambiente} + (NOCT - 20) * \frac{S}{800} \quad (12)$$

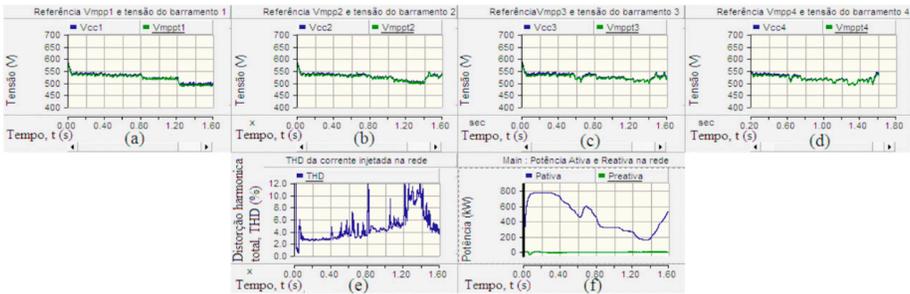


Figura 7- (a) – (d) Tensão do barramento CC dos conversores. (e) THD da corrente injetada na rede. (f) Potência ativa e reativa injetada na rede.

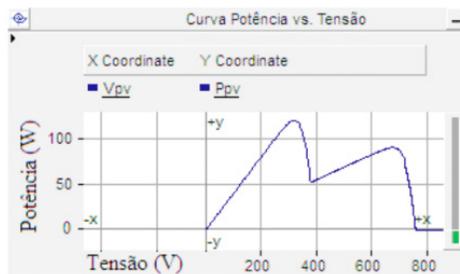


Figura 8- Curva característica potência versus tensão do painel devido a sombreamento parcial.

onde  $S$  é a irradiação solar em  $W/m^2$ ,  $T_{ambiente}$  é a temperatura média do ar, e  $NOCT$  é a temperatura de  $46\text{ }^{\circ}C$  obtida pelo catálogo do fabricante do painel.

O resultado de um dos dias é mostrado na Fig. 9 e Fig. 10. Foi observado que

nos dados do SCADA havia uma limitação de potência injetada na rede ( $P_{ac}$ ) em 100 kW, configurado manualmente no conversor por questões de sobretemperatura enfrentadas no container onde o conversor está instalado. O intervalo de amostragem do sistema SCADA é de 1 minuto, que é representado na simulação do PSCAD 0,5 segundos. Este procedimento foi necessário para tornar viável o tempo total de simulação. É importante evidenciar que esta compressão de dados introduz erros. Considerando os pontos abaixo da limitação de potência, o erro quadrático médio entre dados de simulação e dos dados reais é de 16,5 %. Foi desconsiderado também o efeito de sombreamentos devido à algumas árvores e arbustos existentes em uma das extremidades da usina, descrito a seguir.

Através de resultados de simulação para outros dias, notou-se uma diferença entre a simulação e os dados SCADA ao final do dia, como pode ser notado na Fig. 10. Após verificação no local da usina, constatou-se que esta diferença é proveniente do efeito de “near shading”, sombra próxima em tradução livre, ocasionado por vegetação e elevação de terreno externo a usina. A posição do sensor e um único ponto de sensoriamento da irradiação não permite uma modelagem mais precisa de cenários como esse de sombreamento parcial causando imperfeições na contabilização da energia gerada. Felizmente, nenhum outro anteparo faz sombra aos painéis.

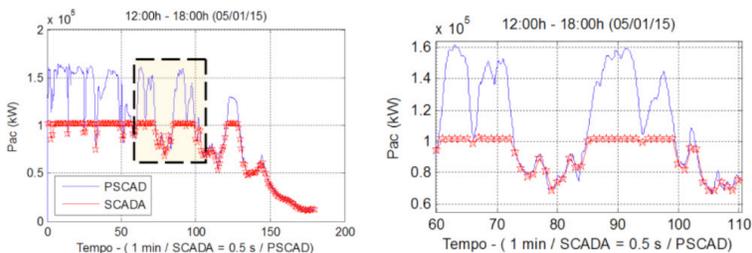


Figura 9- (a) Comparação entre os dados reais (SCADA) e de simulação (PSCAD) de potência injetada na rede. (b) Zoom da região marcada na fig. (a).

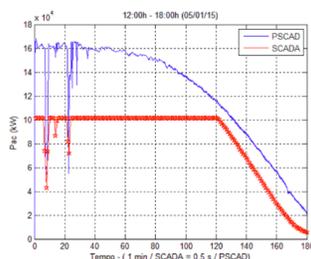


Figura 10- Comparação entre os dados reais (SCADA) e de simulação (PSCAD) de potência injetada na rede.

## 5 | COMPARAÇÃO DE DADOS DO MODELO COM DADOS DO PVSYS

Durante o projeto da usina, são realizados ensaios em softwares apropriados para estimação da geração da mesma. Esses dados são cruciais na verificação da viabilidade econômica da usina e muitas vezes definitivos para a escolha entre investimentos. Para a usina em estudo, dados PVSYS foram obtidos para estimar a geração da mesma levando em consideração o posicionamento da mesma na época de implantação e com dados do local de instalação, como irradiação equivalente em horas equivalentes de sol mensais obtidas de estações apropriadas em localidades próximas.

Após 3 anos de operação, dados reais da estação solarimétrica da usina foram obtidos e, utilizando a simulação validada (apresentada nas seções anteriores), simulou-se a usina dos meses de março a setembro. A Fig. 11 apresenta os dados comparativos de ambas as simulações. Para essa simulação, as perdas do transformador e dos painéis após três anos de operação conforme dados do fabricante.

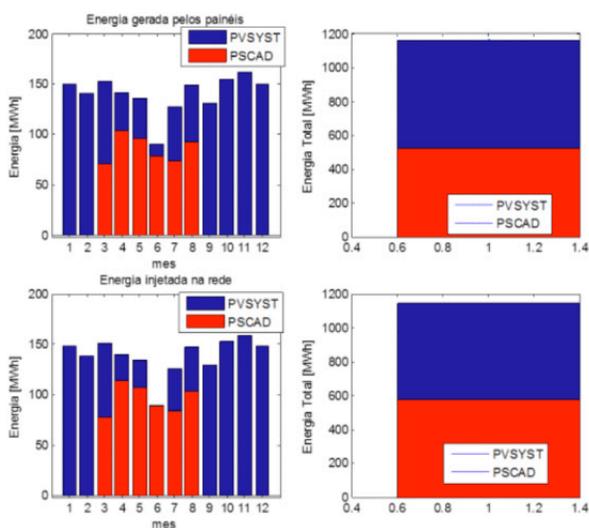


Figura 11- Comparação entre a geração de energia obtida no PVSYS com a obtida em simulação no PSCAD.

A energia gerada é, no máximo, 52 % da estimada inicialmente. Isto pode afetar significativamente os estudos de retorno de investimento da usina. Alguns parâmetros podem ser citados para explicar a discrepância entre a geração esperada e a geração real de energia, como, por exemplo, a utilização de dados de irradiação estimada do local incorretos. Os dados normalmente utilizados são provenientes de

médias históricas muito longas e não necessariamente representam o ano medido pela estação solarimétrica contida na usina. Incorreções nas medidas da estação solarimétrica foram desconsideradas uma vez que, no período analisado dos dados provenientes da estação, uma equipe de manutenção preventiva tem realizado todos os procedimentos de limpeza e calibração sugeridos por norma. Outro ponto que pode ter levado a essa diferença é a contabilização de perdas não incluídas no estudo com PVSYS, como depreciação dos painéis, considerada linear e anual a partir de dados do fabricante. Influências de “near shading” não foram contabilizadas na simulação de energia e, portanto, não podem ter causado essa diferença.

## 6 | COMPARAÇÃO DE DADOS DO MODELO COM DADOS DO PVSYS

As usinas solares estão em foco dos investimentos em energia solar renovável nos últimos anos. Entender e comparar os resultados já obtidos em instalações reais faz-se crucial para investimentos econômicos na área, como apresentado neste trabalho. Dados de simulação foram validados através de dados de geração reais da usina e então comparados a dados iniciais de análise do investimento. A discrepância entre valores estimados e reais encontrada foi notória e o retorno do investimento calculado pode estar muito aquém do desejável.

A simulação desenvolvida permite obtenção de curvas de geração mais precisas quanto maior for o detalhamento de informações do sistema, sendo uma ferramenta auxiliar eficaz para estudos de viabilidade econômica. Desta forma, em etapa de projeto é possível ter resultados dinâmicos de geração por meio de base de dados de irradiação solar e temperatura, acrescentando maior grau de liberdade para a análise de viabilidade. Está prevista uma análise mais detalhada das perdas desse sistema, o que indicará uma situação ainda mais próxima do estimado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COELBA o suporte financeiro através do programa de P&D da ANEEL “Chamada ANEEL: 013/2011”, Número PD-0047-0060/2011.

## REFERÊNCIAS

AGORRETA, Juan Luis; BORREGA, Mikel, LÓPEZ, Jesús, MARROYO, Luiz. **Modeling and control of N-paralleled grid-connected inverters with LCL filter coupled due to grid impedance in PV plants.**, IEEE Trans. on Power Electronics, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 770-785, mar. 2011.

BAROTE, Luminita., MARINESCU, Corneliu. **Reactive power influence on power quality for grid connected converter in DPGS applications**, Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), Bran, pp. 748 – 755, mar. 2014.

CHEN, Yun; LIU, Fei. **Design and control for three-phase grid-connected photovoltaic inverter with LCL filter**, IEEE Circuits and Systems International Conference on Test and Diagnosis, Chengdu, pp. 1 – 4, abr. 2009.

HSIAO, Ying-Tung; CHEN, China-Hong. **Maximum power point tracking for photovoltaic power system**, in Conf. Record 37th IAS Annu. Meeting Ind. Appl. Conf., Pittsburgh, pp. 1035 – 1040, dez. 2002.

Ingeteam Power Technology, **INGECON SUN PowerMax Installing manual**, Espanha: Madrid, 2012. Disponível em: [http://www.ingeteam.com/Portals/0/Productos/Documentos/PTD158\\_\\_Installation%20Manual.pdf](http://www.ingeteam.com/Portals/0/Productos/Documentos/PTD158__Installation%20Manual.pdf)

RAHMAN, Shah Arifur; VARMA, Rajiv. K. **PSCAD/EMTDC model of a 3-phase grid connected photovoltaic solar system**, North American Power Supply Symposium (NAPS), Boston, pp. 1-7, ago. 2011.

RAJAPAKSE, Athula D.; MUTHUMUNI, Dharshana. **Simulation tools for photovoltaic system grid integration studies**, IEEE Electrical Power & Energy Conference (EPEC), Montreal, pp. 1-5, out. 2009.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael; FILHO, Ernesto Ruppert. **Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays**, IEEE Trans. On Power Electronics, vol. 24, no. 5, pp. 1198 – 1208, mar. 2009a.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael; FILHO, Ernesto Ruppert. **Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic Arrays**, Brazilian Journal of Power Electronics, Bonito, vol. 14, no. 1, pp. 35 – 45, out. 2009b.

YAZDANI, Amirnaser, IRAVANI, Reza. **Voltage source converters in power systems: modeling, control and applications**. Toronto: Wiley-Interscience Press, 2010. 541 p.

Yingli Solar, **Panda 265 series datasheet**, China: Baoding, 2012. Disponível em: <http://www.affordablesolar.com/site/doc/Panda%20265%20Series%20Data%20Sheet.pdf>

ZHANG, Chi; DRAGICEVIC, Tomislav; VASQUEZ, Juancho C.; GUERRERO, Josep M. **Resonance damping techniques for grid-connected voltage source converters with LCL filters – A review**, In Proc. of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Cavtat, pp. 169 – 176, mar. 2014.

# CAPÍTULO 6

## GERENCIAMENTO DE REDES DE ENERGIA INTELIGENTES (REI) EMPREGANDO ANÁLISE POR MODELO PREDITIVO EMPREGANDO REDES MODULARES EXPANSÍVEIS DE INSTRUMENTAÇÃO

*Data de aceite: 01/12/2020*

### **Elói Fonseca**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)

### **Diego Henrique do Amaral**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/4802342778021749>

### **Bruna Malaguti**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/7508387640672429>

### **Gabriel de Souza Cordeiro**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/5020862054810924>

### **Felipe Emanuel Sales**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/3536784004294252>

### **Victor Hugo Paezane dos Anjos**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/2877296532458237>

### **Naiara de Souza Lima**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP)  
<http://lattes.cnpq.br/6947142597017451>

fotovoltaicos e eólicos passa pela solução das limitações inerentes a intermitência. Assim as tecnologias aplicadas a instrumentação e controle devem ser modeladas de forma a permitir o efetivo gerenciamento da energia gerada, do processo de armazenamento e distribuição de acordo com os requisitos das cargas alimentadas pela microrede de energia considerando as possibilidades de expansão modular de capacidade de geração. A Companhia Energética de São Paulo (CESP) desenvolve desde 2017 pesquisa aplicada a metodologias inovativas para o gerenciamento de armazenamento de energia aplicado a Redes Inteligentes de Energia (REI) empregando avaliação de comportamento por análise de modelo preditivo, numa infraestrutura de pesquisa de experimento de armazenamento com banco de baterias de íon lítio e sistema de armazenamento em hidrogênio por eletrólise empregando tecnologia PEM, alimentados por conjunto de plantas solares e aerogeradores numa microrede de energia. O desenvolvimento de um sistema robusto de instrumentação e controle aplicado ao projeto inclui a implementação e teste de sistemas dedicados, modulares com capacidade de integração sem fio e ferramentas de segurança de dados por criptografia ponto a ponto embarcada. Os dados coletados em instrumentação de dados são empregados para geração de modelo comportamental dos subsistema de geração, armazenamento e distribuição, sendo base para a elaboração de modelo preditivo e controle ativo preventivo a ser testado na infraestrutura de pesquisa. Foi implantado na UNESP laboratório com ambiente controlado visando a geração de modelos

**RESUMO:** A pesquisa de eficiência energética em microrredes de energia constituídas por sistemas

representativos de comportamento para subsidiar os testes de controle e segurança do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Instrumentação, controle, armazenamento.

**ABSTRACT:** The research of energy efficiency in energy micro-networks constituted by photovoltaic and wind systems goes through the solution of the limitations inherent to intermittency. Thus, the technologies applied to instrumentation and control must be modeled in such a way as to allow the effective management of the generated energy, the storage and distribution process according to the requirements of the loads fed by the micro power network considering the possibilities of modular expansion of generation capacity. . Since 2017, Companhia Energética de São Paulo (CESP) has been developing research applied to innovative methodologies for the management of energy storage applied to Intelligent Energy Grids (REI) employing behavioral assessment by predictive model analysis, in a research infrastructure of research experiment. storage with bank of lithium ion batteries and hydrogen storage system by electrolysis using PEM technology, powered by a set of solar plants and wind turbines in a micro power network. The development of a robust instrumentation and control system applied to the project includes the implementation and testing of dedicated, modular systems with wireless integration capabilities and embedded point-to-point encryption data security tools. The data collected in data instrumentation are used to generate the behavioral model of the generation, storage and distribution subsystem, being the basis for the elaboration of a predictive model and active preventive control to be tested in the research infrastructure. A laboratory with a controlled environment was implanted at UNESP aiming at the generation of representative models of behavior to support the control and security tests of the system.

**KEYWORDS:** Instrumentation, control, storage.

## 1 | INTRODUÇÃO

No conceito de cidades inteligentes [1], visualiza-se a necessidade de operação cooperativa em estrutura composta de edificações com crescente implantação de sistemas de geração de energia elétrica distribuída, como sistemas fotovoltaicos, aerogeradores, termosolares e a biomassa fornecendo energia para cargas como equipamentos diversos e iluminação, distribuídos de forma distinta entre eles com potencial de carga e demanda variável. Num contexto geral com a infraestrutura convencional disponível não é possível determinar detalhes mais precisos do que a demanda total consumida, estimada por leituras pontuais ou acumulativas, em medidores centralizados no fornecimento de energia de cada fonte incluindo a própria rede comercial. O estabelecimento de medidores com capacidade de monitoramento e registro de dados distribuídos de forma a permitir uma estimativa em segmentos estratégicos da rede elétrica e pontos potencialmente impactantes como redes de sistemas de iluminação, climatizadores e dispositivos de elevado

consumo permitirá obter um diagnóstico de consumo instantâneo, definindo perfis de variação de carga e métricas de eficiência energética ao comitê de energia local, construindo assim uma rede integrada de múltiplos *Meter Data Collecting* (MDC) [2]. A implementação de uma rede de medidores distribuídos numa infraestrutura dinâmica sujeita a expansões e alterações futuras coloca como requisito a modularidade e adaptabilidade, empregando para sua interconexão transceptores sem fio com tecnologia e topologia também modulares, expansíveis e integradas, incluindo neste contexto experimentos com rádio definido por software com objetivo de obter perfis de frequência e de modulação adequados aos requisitos de ambientes com distância e relevo acentuados onde não existam meios convencionais de comunicação de dados já instalados [3]. O grande desafio tecnológico e potencial de inovação é integrar componentes de tecnologia disponíveis *commercial off the shelf*, para aplicações de medição, registro e telecomunicações, onde requisitos como protocolos físicos e lógicos são variados e na maioria deles não padronizados. O projeto tem a premissa de gerar uma rede integrada empregando tecnologias distintas de medição e comunicação através de interfaceamento por módulos de integração desenvolvidos quando necessário, parametrização dos dispositivos e criptografia de segurança dos dados transmitidos, além de disponibilizar os dados obtidos e registrados a aplicativos compatíveis com dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*, permitindo o acesso remoto ágil e apropriado como apoio à decisão e suporte à segurança da rede, o que será aplicável a projetos de *Smart Grids*, num servidor atuando como *Meter Data Management* (MDM).

## 2 I CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Atualmente a pesquisa de eficientes tecnologias em geração, armazenamento e distribuição a partir de fontes de energia renovável RES (*renewable energy sources*) constitui importante etapa para a implantação de contínuo fornecimento de energia em uma rede de energia elétrica, em função da intermitência e instabilidade das RES fotovoltaicas e eólicas. A partir da Chamada de P&D Estratégico nº 21/2016 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foi iniciada em 2017 na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) pesquisa do projeto da Companhia Energética de São Paulo - CESP P&D 00061-0054/2016 para o desenvolvimento de inovadoras metodologias de gerenciamento de redes inteligentes (*Smart Grid Management*) empregando a análise de modelo preditivo [3][4], proposta para um sistema híbrido de armazenamento de energia constituído por banco de baterias de íon-lítio e sistema de armazenamento em hidrogênio por eletrólise alimentado por um conjunto de plantas fotovoltaicas e torres com aerogeradores interconectadas como uma micro rede de energia[2].

O desenvolvimento de sistema robusto de instrumentação e controle aplicado ao projeto contempla o desenvolvimento e testes de uma malha de controle que inclui a integração wireless e acesso seguro com criptografia ponto a ponto própria aplicável a microrredes de energia como instalações. A pesquisa faz parte de uma estrutura que foi iniciada com a implantação de um parque fotovoltaico e eólico com investimentos da Companhia Energética de São Paulo (CESP) em projetos de chamadas ANEEL anteriores, sendo agora complementada com a abordagem do armazenamento e despacho de energia. Os requisitos de qualidade e eficiência energética poderão ser verificados nos experimentos realizados e modelos comportamentais definidos para elaboração de modelos matemáticos representativos a partir da análise preditiva dos dados coletados. No contexto da crescente utilização de geração distribuída, microrredes de energia e disponibilidade de recursos com eficiência, espera-se colaborar com a geração de ferramentas a partir da análise preditiva como base para a análise prospectiva habilitando o desenvolvimento de sistemas de controle e monitoramento adequados aos perfil de expansão do emprego de energia renovável distribuída [6].

Os objetivos da pesquisa no projeto são:

- Oferecer potenciais respostas ao desafio tecnológico de inovação ao integrar componentes de tecnologia disponíveis *commercial off the shelf*, para aplicações de medição, registro e telecomunicações, onde requisitos como protocolos físicos e lógicos são variados e na maioria deles não padronizados.
- Desenvolvimento de inovadoras metodologias de gerenciamento de redes inteligentes (*Smart Grid Management*) empregando a análise de modelo preditivo, proposta para um sistema híbrido de armazenamento de energia constituído por banco de baterias de íon-lítio e sistema de armazenamento em hidrogênio por eletrólise.
- Suporte tecnológico a implantação de contínuo fornecimento de energia com elevada estabilidade em frequência e tensão simultaneamente apresentando baixa distorção harmônica em uma micro rede de energia elétrica, em função da intermitência e instabilidade das RES fotovoltaicas e eólicas através do armazenamento e controle dinâmico do despacho.
- Redução de custos operacionais e riscos potenciais ao controle do sistema por eventuais intermitências e flutuações não previstas, através de controle preditivo e preventivo suportado por monitoramento em tempo real.
- Desenvolvimento de sistema robusto de instrumentação e controle aplicado ao projeto contempla o desenvolvimento e testes de uma malha

de controle que inclui a integração wireless e acesso seguro com criptografia ponto a ponto própria aplicável a microredes de energia como instalações.

O diagrama básico do projeto P&D 00061-0054/2016 da Companhia Energética de São Paulo – CESP é apresentada na Fig 1.

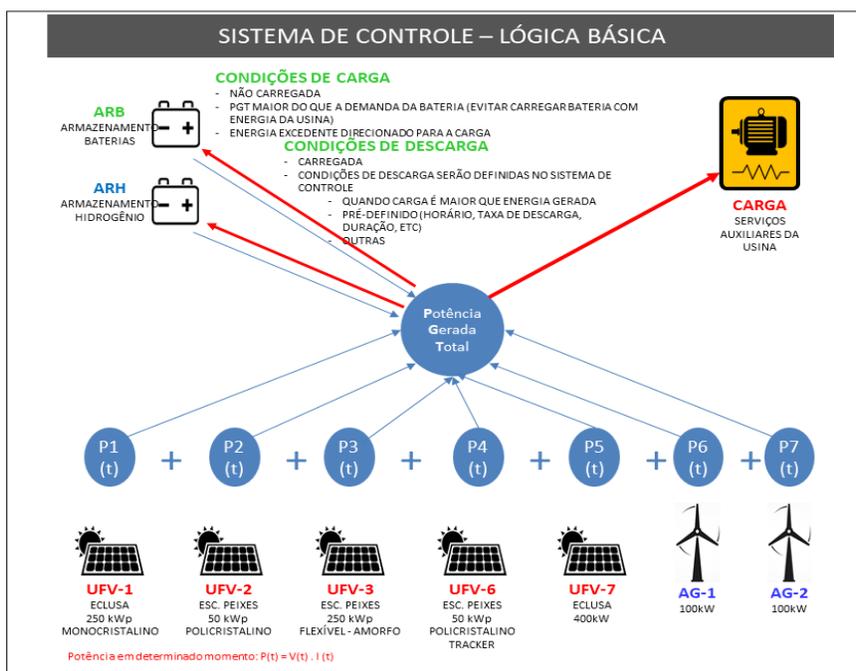


Figura 1: Estrutura em bloco do P&D 00061-0054/2016 [2]

A Fig. 2 apresenta o layout das plantas de microgeração e cargas do sistema no projeto, das quais os blocos de armazenamento e controle estão contratados e atualmente em fase de implantação para a pesquisa. As plantas geradoras do projeto são constituídas de aerogeradores e distintas tecnologias de células fotovoltaicas, assim como modelos de inversores de fabricantes diferentes, sendo a capacidade de geração distribuída não uniformemente na rede, sendo duas plantas com capacidade 250kWp sendo uma cristal amorfo flexível e uma silício policristalino, duas plantas com capacidade de 50 KWp sendo ambas monocristalinas uma com mecanismo de apontamento (suntracker) a outra fixa, duas com capacidade de 25kWp ambas em estruturas flutuantes instaladas no lago de usina hidroelétrica de Porto Primavera, sendo uma de cristal amorfo flexível e a outra de silício monocristalino, uma planta com capacidade de 400kWp sendo de silício monocristalino, duas torres

aerogeradoras de 100kWp cada, sistema de armazenamento com hidrogênio e sistema de armazenamento com baterias de íon-lítio.

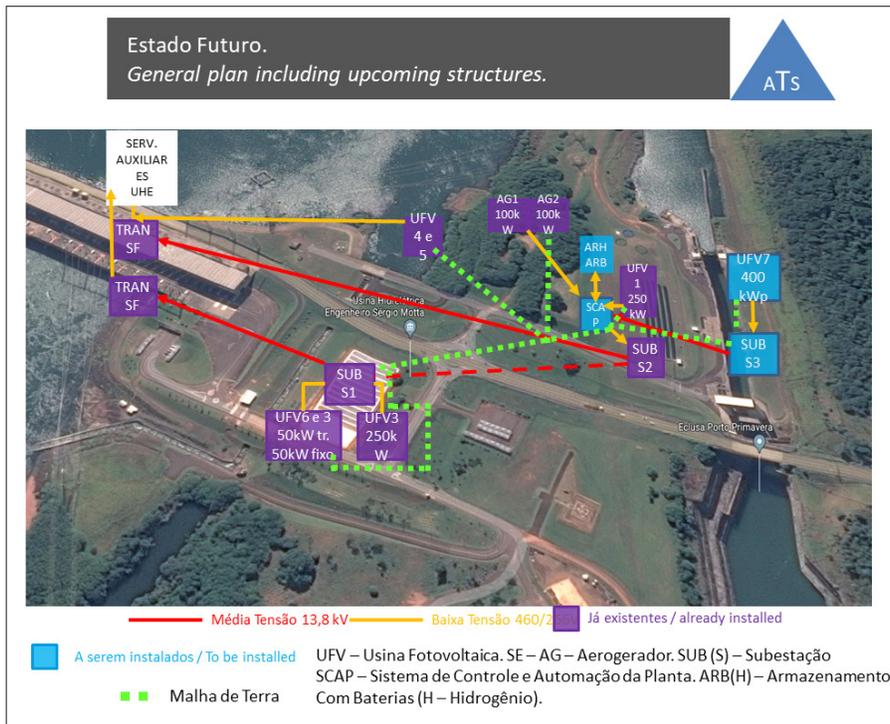


Figura 2: Distribuição física das plantas geradoras [2].

Com o suporte técnico e financeiro da CESP está sendo implantado um laboratório de pesquisa com cadeia reduzida de geração, armazenamento e distribuição de energia elétrica renovável no campus de Rosana da UNESP [Fig. 3] constituída de aerogerador de 2,4kWp, planta solar de 3kWp com baterias de nanocarbono, sistema de armazenamento em hidrogênio por eletrolizador e célula combustível de 2,5kW, banco de baterias de 3kW de íon-lítio e sistema de instrumentação para cada subsistema, sendo uma estrutura laboratorial delineada para permitir a realização de ensaios e testes em escala reduzida com maior flexibilidade e agilidade. Esta estrutura de ensaios e coleta de dados com plantas reais e em cadeia reduzida laboratorial permitirá de forma mais concreta testar os dispositivos de monitoramento e controle desenvolvidos e suportar adicionalmente pesquisadores de graduação e pós-graduação em pesquisas derivadas e executar treinamento de capacitação e operação de sistemas de energia renovável.

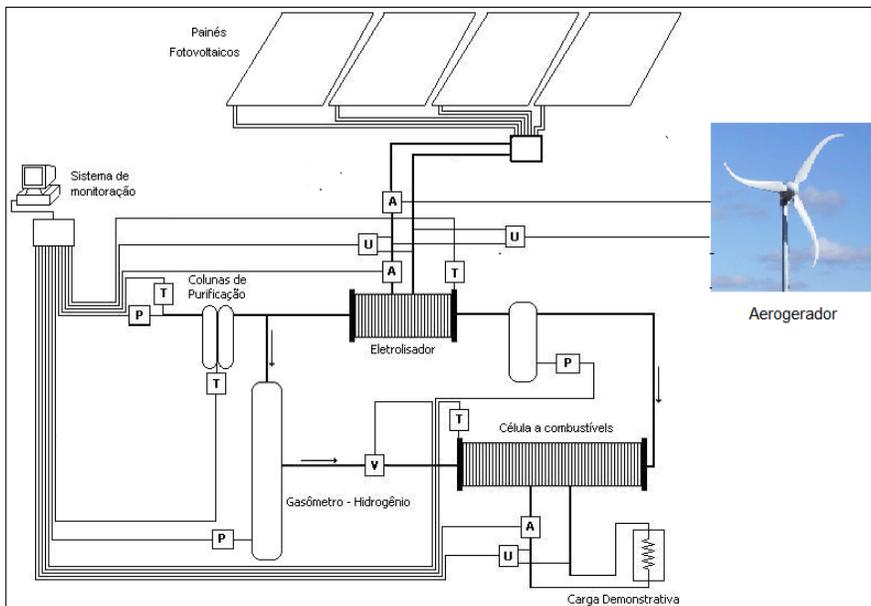


Figura 3: Estrutura em bloco dos medidores inteligentes.

### 3 I METODOLOGIA

A pesquisa baseia-se na análise preditiva onde dados históricos são empregados para previsão de eventos futuros através da representação por modelos matemáticos consistentes. Os modelos preditivos desenvolvidos serão testados com dados atualizados para previsão de comportamento e tomada de decisões de ações executadas para obter os melhores resultados. A análise preditiva permitirá assim desenvolver a análise prescritiva como o próximo objetivo pois a análise preditiva cria uma estimativa de tendencia de comportamento enquanto a análise prescritiva é um ramo da análise de dados que emprega modelos preditivos para sugerir ações a serem tomadas a fim de obter os melhores resultados [7]. Os diagrama bloco dos sistemas de aquisição de dados com desenvolvimento de firmware de medidores inteligentes é apresentado na Fig. 4.

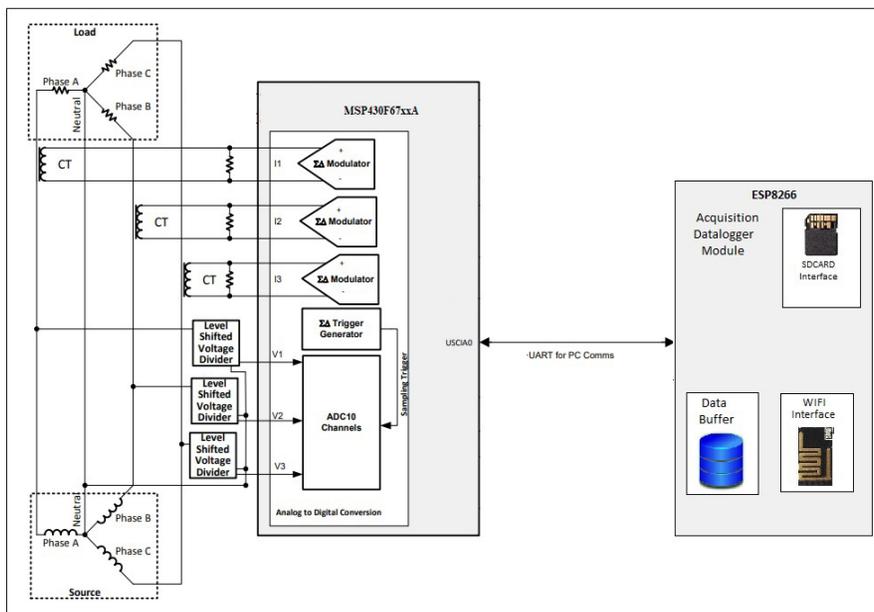


Figura 4: Estrutura em bloco dos medidores inteligentes empregados [3].

O gerenciamento da rede de energia inteligente usando modelo preditivo será baseado em processamento de dados e controle a partir de uma rede modular e expansível de instrumentação empregando tecnologias com capacidade de extração de componentes através de análise por Processadores da família MSP430F67xxA para medidas de energia [8], que permitem obter informações contínuas e detalhadas sobre parâmetros da geração, armazenamento e distribuição de cada segmento da rede, sendo estes dados organizados e armazenados em banco de dados relacional dedicado para suportar a análise e processamento posterior. Estes medidores incorporam a biblioteca de energia MSP430F67641A da Texas Instruments, que permite extrair parâmetros individuais por fase como  $V_{rms}$ ,  $V_{pico}$ ,  $I_{rms}$ ,  $I_{pico}$ ,  $P_{var}$ ,  $P_{real}$ , Fator de Potência e tres métodos de cálculo de Distorsão Harmônica Total (TDHIEC\_F, TDHIEC\_E e TDHIEEE) em taxa de amostragem programável até 8096 amostras/segundo [9]. A compreensão da influencia de cada elemento constituinte da rede, fatores de variação e tipo de carga, interação entre fontes de geração distintas integradas em rede a partir dos dados adquiridos pela instrumentação permitirá desenvolver modelos matemáticos e estatísticos representativos comportamentais, como base para o desenvolvimento de inovadores mecanismos de controle ativo que permitam reduzir de forma significativa as oscilações e anomalias decorrentes das interações em conexão em redes de energia. O emprego de rede de instrumentação automatizada com tecnologias compatíveis com integração

em rede na concepção de IoT (Internet of Things) em comunicação wireless, permitirá também o desenvolvimento de smart meters adaptados a aplicações de monitoramento e controle detalhado de microredes de energia renovável [1]. Nestes medidores são empregadas para instrumentação de corrente bobinas de Rogowski [9][10] tecnologia que apresenta vantagem sobre outros tipos de transformadores de corrente pelo emprego de núcleo de ar que ao contrário do núcleo de ferro apresenta uma baixa indutância permitindo assim resposta a rápidas variações de corrente elétrica. Outro fator relevante é a não saturação comum aos núcleos de ferro, sendo altamente linear mesmo quando submetido a elevadas intensidades de corrente típicas em aplicações em micro redes de energia elétrica. A rede de comunicação de dados do sistema segue o padrão proposto pelos conceitos de *Internet of Things* (IoT) onde os elementos constituintes do sistemas são pontos de acesso de Entrada/Saída (*Nodes*) , pontos de tráfego e concentração de dados (*Gateways, Bridges ou Routers*) ou pontos de acesso a internet propriamente (*Cloud*) todos estes possuindo componentes *Commercial Off The Shelf* para implementação soluções modulares e incrementais como apresentado na Fig 5.

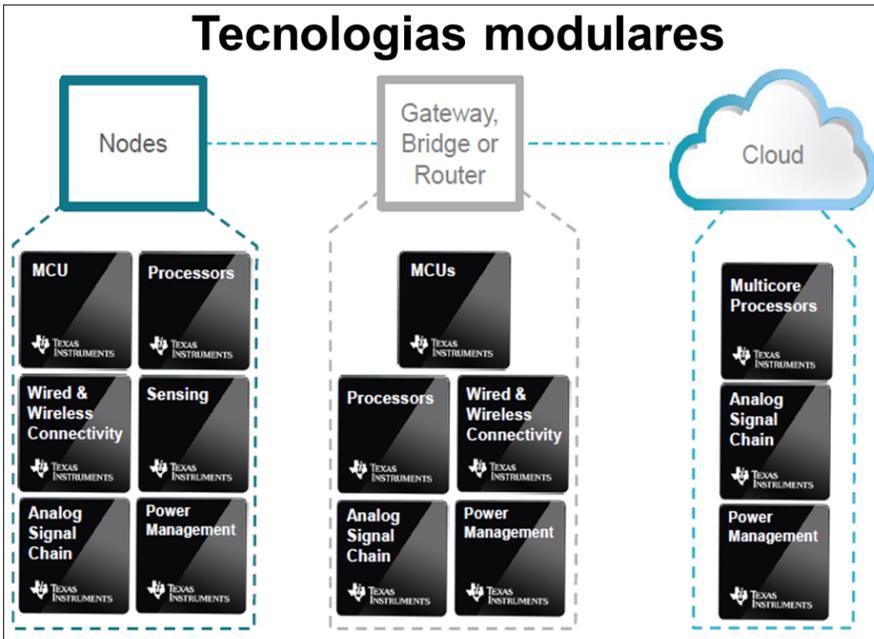


Figura 5: Elementos constituinte de rede de comunicações de sistemas IoT de energia [1].

A estrutura lógica definida para estes elementos depende de sua aplicação

[11], sendo exemplificada na Fig. 6, onde pode-se notar que distintas camadas de implementação suportam as aplicações necessárias para as funcionalidades de cada elemento.

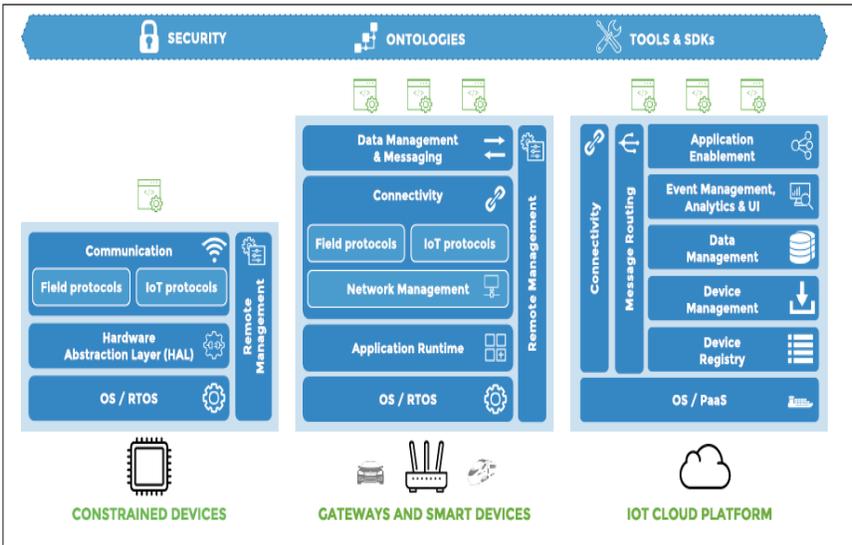


Figura 6: Estrutura em bloco dos medidores inteligentes [11].

A arquitetura funcional e o backbone de tráfego de dados pode ser resumida na Fig. 7, onde se vê a base de implementação de monitoramento e controle remoto de dispositivos externos através de roteamento no conceito de IoT.

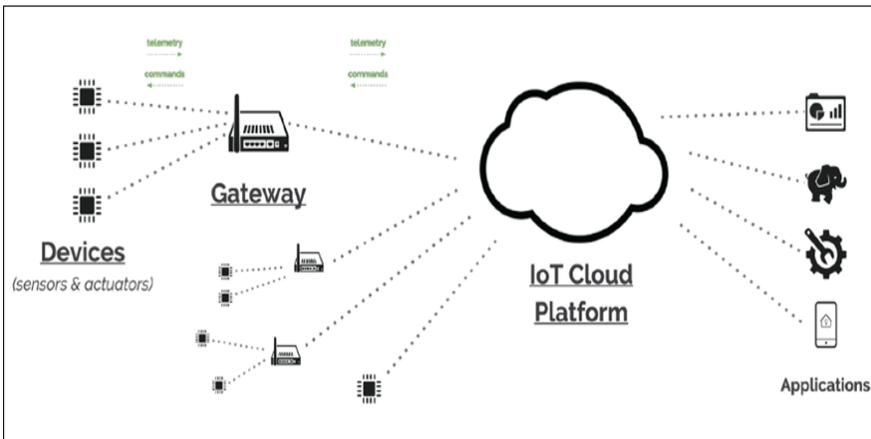


Figura 7: Estrutura funcional de monitoramento e controle em IoT [11].

O acesso a dados de monitoramento e controle de sistemas de geração, armazenamento e distribuição de energia é crítico pois pode comprometer a segurança de operação de instalações civis, assim uma linha de pesquisa em andamento no projeto é o desenvolvimento de infraestrutura embarcada de criptografia ponto a ponto e não somente no acesso externo ao servidor. Foram selecionados e adquiridos módulos de desenvolvimento que empregam microcontroladores com capacidade dedicada de criptografia de dados, onde se torna mais flexível o desenvolvimento de algoritmos e geração e distribuição de chaves dinâmicas nos subsistemas [Fig. 8].

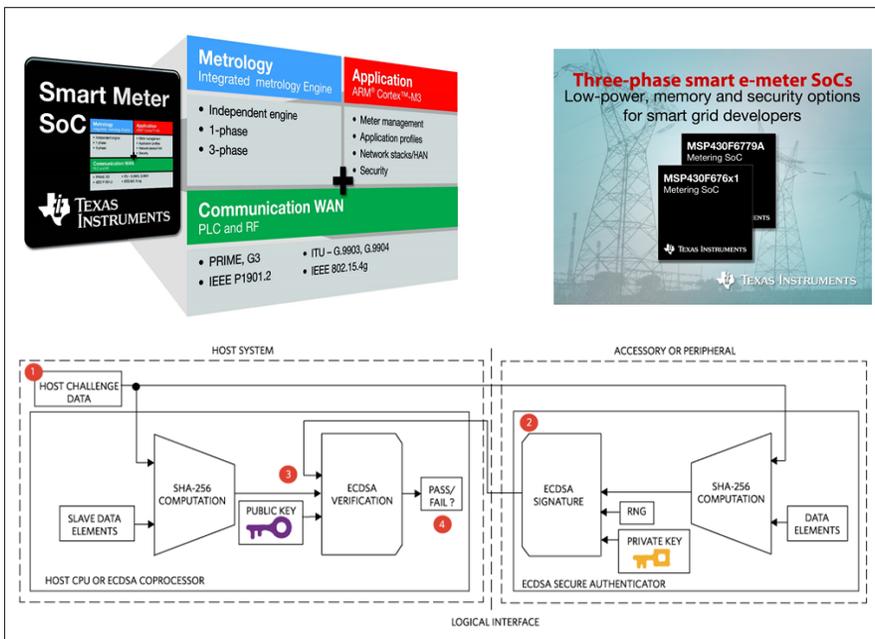


Figura 8: Inclusão de criptografia de dados em *smart meters* [1].

Neste contexto para atingir os objetivos de acesso remoto a dados do projeto, o sistema deverá permitir a aquisição de informações provenientes de instrumentação das plantas de geração, sistema de armazenamento e de distribuição de energia elétrica, para composição de dados em banco de dados relacional. As características desejáveis e as mandatórias das informações a serem obtidas através de monitoramento servem como regras de desenvolvimento seguidas nas fases posteriores do processo de desenvolvimento e implantação do Sistema de Gerenciamento do Banco de Dados Relacionais do projeto. A integração entre sistemas será abordada em linhas de requisitos, ações, metodologias e tecnologias a empregar para implementação do sistema de instrumentação

completo. A aquisição e registro de dados de energia necessita de projeto de banco de dados relacional que permitirá o desenvolvimento e a implantação de serviços de gerenciamento da organização e armazenamento de informações aquisitadas através da instrumentação do laboratório de pesquisas de geração, sistemas de armazenamento e distribuição de energia elétrica dentro do projeto ANEEL P&D 00061-0054/2016. Neste contexto, o sistema deverá permitir a aquisição de dados provenientes de instrumentação das plantas de geração, sistema de armazenamento e de distribuição de energia elétrica, provendo o acesso ao banco de dados via interfaces remotas de clientes via web. A figura 09 a seguir apresenta a abordagem de desenvolvimento do sistema prevista para o projeto completo a ser utilizada para desenvolvimento, simulação e análise.

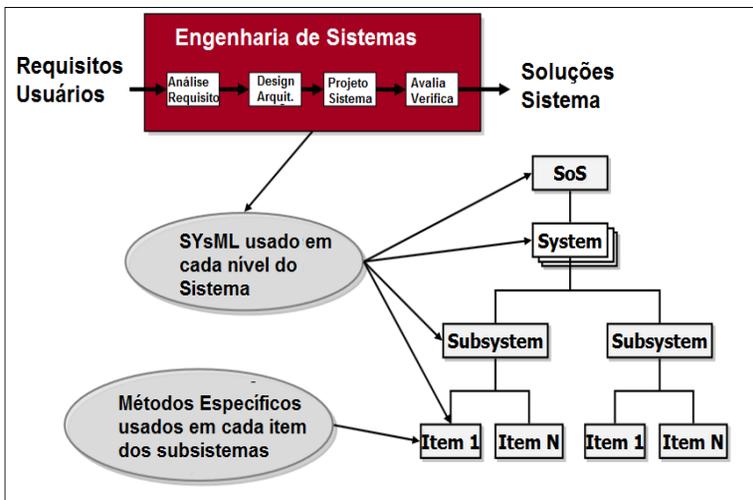


Figura 09: Estrutura descrição sistema em SYsML.

A abordagem de requisitos do sistema será elaborada usando descrição em SYsML, que permitirá empregar os conceitos de desenvolvimento ágil integrado, com as características de modularidade e reusabilidade desejáveis ao contexto do projeto. A idéia inicial é priorizar o emprego de ferramentas abertas para gerenciamento de bancos de dados relacionais como MySQL e PHP. Uma proposta inicial de *backbone* para a arquitetura do sistema é apresentada na Fig. 11, onde o acesso dos usuários ao sistema é gerenciado por serviços de interface WEB, enquanto a coleta de dados de instrumentação e mensagens de controle e segurança como chaves de acesso, atualizações necessários são estabelecidos através de comunicação multiagentes com os segmentos de plantas e dispositivos monitorados/controlados.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas de geração fotovoltaicas e aerogeradores encontram-se em operação nominal com supervisorio em solução comercial implantado. Os testes com os modelos de desenvolvimento de *smart meters* em laboratório apresentaram-se satisfatórios, sendo que o monitoramento monofásico e trifásico com determinação de parâmetros individuais por fase como  $V_{rms}$ ,  $V_{pico}$ ,  $I_{rms}$ ,  $I_{pico}$ ,  $P_{var}$ ,  $P_{real}$ , Fator de Potência e tres métodos de cálculo de Distorsão Harmônica Total (TDHIEC\_F, TDHIEC\_E e TDHIEEEE) em taxa de amostragem programável foram realizados entre 50 e 4096 amostras/segundo, os dados aquisitados foram enviados a módulos externos de armazenamento em dispositivos de estado sólido (cartão SD 8Gbytes), permitindo assim manter um registro de dados contínuo em taxas elevadas para testes iniciais. A cadeia reduzida de geração, armazenamento e distribuição está em processo de aquisição e implantação, sendo prevista sua operacionalidade parcial em agosto de 2018 e total em janeiro de 2019. As soluções tecnológicas desenvolvidas terão aplicação em eficiencia energética e gestão de geração de energia distribuída, pois a análise preditiva de comportamento das interações entre distintas fontes geradoras e variação de cargas acopladas a microrede de energia permitirá através de análise prescritiva elaborar modelos de controle com maior confiabilidade e eficiencia.

Principais aplicações potenciais comerciais:

- Estruturas de suporte a segurança de dados IoT em sistemas distribuídos de microgeração, armazenamento e distribuição de energia.
- Estruturas de suporte a automação e controle preditivo e preventivo de microredes de energia em sistemas off-grid e on grid.
- Controle, eficiencia e segurança em clusters de sistemas de armazenamento em hidrogênio modulares.
- Controle, eficiencia e segurança em clusters de sistemas de armazenamento em baterias de íon lítio modulares.

Entidades envolvidas no projeto: CESP, Base Energia Sustentável, ATS Tecnologia de Apoio e Serviços, MFAP Consultoria Elétrica e Comércio, IEE/USP – Instituto de Tecnologia e Ambiente da USP e UNESP/FEPISA – Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira. Investimento total no projeto R\$ 29.660.353,98.

## REFERÊNCIAS

- [1] Texas Instruments Incorporated (2016) The Internet of Things: Opportunities & Challenges, disponível em <[http://www.ti.com/ww/en/internet\\_of\\_things/pdf/14-09-17-IoTforCap.pdf](http://www.ti.com/ww/en/internet_of_things/pdf/14-09-17-IoTforCap.pdf)> , Acesso em 25/10/2017 .
- [2] Markovic, D.S., Zivkovic, D., Branovic, I., Popovic, R. and Cvetkovic, D. (2013) Smart Power Grid and Cloud Computing. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 566-577. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.068>> , Acesso em 15/08/2017.
- [3] Fonseca, E. et all (2018) Gerenciamento de Redes de energia inteligentes (REI) empregando análise por modelo preditivo empregando redes modulares expansíveis de instrumentação, Anais do XVI Congreso Ibérico y XII Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Madri 20-22 Junho 2018, pp 923-929.
- [4] Choi, C.-S., Ian, J.I., Park, W.-K., Jeong, Y.-K. and Lee, I.-W. (2011) Proactive Energy Management System Architecture Interworking with Smart Grid. *Proceedings of the IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics*, Singapore, 1-4.
- [5] Frey, S., Disch, S., Reich, C., Knahl, M. and Clarke, N. (2015) Cloud Storage Prediction with Neural Networks. *Proceedings of the Sixth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization*, Nice, 22-27 Março 2015, pp 68-72.
- [6] Ribeiro, P. F. et all (2014) *Power systems signal processing for smart grids*, John Wiley & Sons, ISBN-13: 978-1119991502.
- [7] Markovic, D.S., Zivkovic, D., Branovic, I., Popovic, R. and Cvetkovic, D. (2013) Smart Power Grid and Cloud Computing. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 24, 566-577. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.068>> , Acesso em 10/07/2017.
- [8] Mesganaw, M. (2016) TIDUB70A Total Harmonic Distortion Measurement For Energy Monitoring, TEXAS Instruments Technical Manual. Disponível em <[www.ti.com/lit/ug/tidub70a/tidub70a.pdf](http://www.ti.com/lit/ug/tidub70a/tidub70a.pdf)> , Acesso em 25/10/2017.
- [9] Mesganaw, M., Venkat, K. (2014) Interfacing the MSP430AFE25x-Based Single-Phase E-Meter With a Host Processor, Texas Instruments. Application report SLAA632, Disponível em <<http://ti.com/lit/ug/slaa632/slaa632.pdf>> Acesso em 13/11/2017
- [10] FREESCALE SEMICONDUCTOR INC. (2011) MQX-Enabled MCF51EM256 Single-Phase Electricity Meter Reference Design Using the MCF51EM256, MC1322x and MMA7660FC, Rev. 0, Disponível em <[http://www.nxp.com/files/32bit/doc/ref\\_manual/DRM121.pdf](http://www.nxp.com/files/32bit/doc/ref_manual/DRM121.pdf)>, Acesso em 28/10/2017.
- [11] ECLIPSE IOT WORKING GROUP (2016) The Three Software Stacks Required for IoT Architectures, IoT software requirements and how to implement them using open source technology, Disponível em <<https://iot.eclipse.org>> , Acesso em 28/10/2017.

# CAPÍTULO 7

## ANÁLISE NUMÉRICA E EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE COLETORES EVACUADOS DO TIPO WATER-IN-GLASS PARA GERAÇÃO DE VAPOR PARA USO EM SAUNAS

Data de aceite: 01/12/2020

### Maryna Fernanda Ferreira Melo

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5824033836393142>

### Paulo Fernando Figueiredo Maciel

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0169675639305530>

### César Augusto Fernandes de Araújo Filho

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8919998483603540>

### Edson Alves Souza

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/6171052852506611>

**RESUMO:** Este estudo propõe o uso de coletores solares do tipo tubo evacuado water-in-glass, comumente aplicado à produção de água quente, na geração de vapor saturado úmido para alimentação de saunas a vapor. São apresentadas simulações do desempenho do sistema na geração de vapor e também um modelo matemático que representa a máxima temperatura atingida pelo sistema em função da área de coleção para a vazão de 0,44l/h. Testes experimentais foram realizados para validar dados obtidos da simulação numérica utilizando a plataforma TRNSYS (TRAnsient SYstem Simulation). Uma análise foi realizada

para se determinar economia de energia proporcionada pelo sistema solar comparado a sauna convencional elétrica, com base nas tarifas exercidas pela CEMIG (i.e., Companhia Energética de Minas Gerais) no último semestre de 2015. O sistema foi capaz de gerar vapor úmido, a temperatura máxima de ebulição da água foi de  $98,13 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,87^\circ\text{C}$ , sendo que a temperatura média do fluido obtida foi de  $72,6^\circ\text{C} \pm 3,66 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Coletor solar evacuado tipo tubo water-in-glass, geração de vapor, sauna.

### NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ASSESMENT OF THE PERFORMANCE OF WATER-IN-GLASS EVACUATED TUBE COLLECTORS IN THE STEAM GENERATION OF VAPOR FOR SAUNAS

**ABSTRACT:** This study proposes the use of water-in-glass evacuated solar collectors, commonly applied to hot water production, in the generation of saturated steam to supply the thermic demand of wet saunas. This paper presents system performance simulations in steam generation and also a mathematical model that represents the maximum temperature achieved by the system depending on the collection area for the flow rate of 0,44 l / h. Experimental tests were performed to validate data obtained from numerical simulation using TRNSYS platform (i.e., TRAnsient SYstem Simulation). Economical analysis was performed in order to determine monetary saving provided by the solar system compared to a conventional electric sauna, based on taxes charged by CEMIG (i.e., Companhia Energética de Minas Gerais) in

the second half of 2015. The system was able to generate saturated water steam for supplying the steam demand of the system in six month of the year. The maximum temperature of boiling water reached by the system was  $98.13^{\circ}\text{C} \pm 0.87^{\circ}\text{C}$ , and the average temperature of fluid obtained was  $72.6^{\circ}\text{C} \pm 3.66^{\circ}\text{C}$ .

**KEYWORDS:** Solar collector water-in-glass, steam generation, wet sauna, evacuated tube.

## 1 | INTRODUÇÃO

Estudos comprovam que o desempenho de coletores solares evacuados pode ser satisfatório no que tange a geração de vapor saturado a baixas temperaturas. Conforme explica Alfaro-Ayala et al. (2015), estão disponíveis no mercado basicamente três diferentes tecnologias de geração solar aplicadas a tubos evacuados: o tipo *water-in-glass*, tema deste artigo, mostrado na Fig.1; os coletores evacuados com perfil em U e coletores evacuados do tipo *heat pipe*. Um estudo realizado por Morrison et. al. (2004) mostra que o sistema de coleção solar tipo *water-in-glass* vem a ser o mais vantajoso dentre 5 tipos de coletores (tubos evacuados em U, *water-in-glass*, *heatpipe*, coletores planos, e coletores com sistema de armazenamento) isso deve-se graças à sua simplicidade e baixo custo de produção e manutenção. Coletores do tipo *water-in-glass* são constituídos por dois tubos, concêntricos, de vidro borossilicato contendo vácuo entre eles, sendo o tubo interno recoberto por um material absorvedor de radiação solar. Esse modo construtivo permite a eliminação das perdas térmicas por convecção através da criação de um ambiente evacuado em torno do absorvedor. A energia térmica do sol obtida através dos coletores é transferida para o fluido de trabalho.

O objetivo desse trabalho é estudar a possibilidade do uso de coletores solares tipo *water-in-glass* em cooperação ou substituição a sistemas elétricos ou a gás de geração de vapor para alimentação de saunas. Por questões salutaras a temperatura interna da nossa sauna será limitada a  $60^{\circ}\text{C}$ . Lin et al. (2012), por exemplo, demonstraram o êxito de sistemas de coletores solares evacuados baixa temperatura aplicados a várias situações como a produção de água aquecida para dormitórios, restaurantes, piscinas e aplicações industriais. Já Li et al. (2015) estudaram o desempenho térmico de coletores evacuados em U instalado na varanda de um apartamento em Shangai, sendo que suas medições mostraram que este sistema apresenta bons resultados, podendo ser capaz de suprir até 40% de todo o consumo anual de energia para aquecimento de água de um cidadão médio de Shangai. Giostri et. al (2012) afirma que a geração direta de vapor ainda é objeto de estudo no que diz respeito ao suprimento de demandas energéticas, sendo a geração indireta mais comumente utilizada no mercado. Entretanto, para as aplicações aqui propostas, estudar-se-á a possibilidade de geração direta de vapor

de água saturado para suprimento de demandas de vapor de saunas comerciais e domésticas com o objetivo de tornar o sistema simples e economicamente viável.

Bracamonte et al. (2015) fornece parâmetros adequados à inclinação dos coletores solares já que, seus estudos constataram que, para climas subtropicais, o ângulo de inclinação dos coletores em relação a um plano horizontal paralelo ao solo tem influência sobre a eficiência de coletores evacuados tipo *water-in-glass* sendo que o ângulo de 10° foi, dentre os estudados, aquele que possibilitou o maior ganho de temperatura por parte da água de resfriamento dos tubos, apesar desta inclinação induzir o aparecimento de uma zona termicamente inativa no fundo dos tubos.

## 2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR

O sistema solar proposto atua no aquecimento de água até que a mesma atinja seu ponto de ebulição e possa suprir a demanda de saunas úmidas (saunas a vapor) utilizando vapor saturado a pressões próximas à da atmosfera. Neste trabalho foram realizados simulações numéricas e testes de campo para validação dos resultados, obtidos numericamente para o sistema de geração de vapor. Os testes foram realizados na cidade de Belo Horizonte com latitude igual à -19° 55' 15" e longitude igual à -43° 56' 16".

O sistema é constituído de dois tubos evacuados, importados, do tipo *water-in-glass* que tem como finalidade o aquecimento de água para uso doméstico/comercial. A área total de absorção é 0,33 m<sup>2</sup> e utilizando uma câmara de medições feita de vidro transparente com um volume é de 0,72 m<sup>3</sup> além de um reservatório de água para alimentação dos coletores colocado numa altura de cerca de 2 m acima dos tubos evacuados, mostrado na Fig. 2. O vapor gerado nos coletores é conduzido para a câmara de medições por uma tubulação de cobre. Os tubos e conexões do equipamento tiveram seu comprimento minimizado e foram devidamente isolados de maneira que as perdas na tubulação do protótipo serão desprezadas e não serão levadas em conta neste primeiro momento.



(a) Extremidade final onde ocorre a reversão da água.



(b) Extremidade comum de entrada e saída da água.



(c) Esquema mostrando a circulação da água.



(d) Esquema mostrando a ligação do tubo ao reservatório.

Figura 1 – esquema de um coletor evacuado tipo water-in-glass



a) Protótipo



b) Coletores e tubos de cobre

Figura 2 - Foto mostrando a instalação de testes

Dois arranjos de montagem foram propostos para o sistema de coleção, o primeiro deles com os dois tubos evacuados dispostos em série, de modo que o fluido de trabalho fosse pré-aquecido no primeiro tubo e então conduzido para um segundo tubo, cuja finalidade é promover a mudança de fase e em seguida, conduzido para a câmara de medições. O segundo arranjo consiste numa configuração em paralelo, ou seja, a água passa simultaneamente nos dois tubos coletores evacuados retornando para a câmara de medições, sem estágio de pré-aquecimento, mostrados na Fig. 3. A temperatura da água na entrada dos coletores foi estimada em 20 °C e a vazão volumétrica mantida constante e igual a 0,44 l/h  $\pm$  0,11 l/h para cada tubo operando em paralelo ou para cada série de tubos, sendo controlada por uma válvula do tipo esfera. Foram feitas medições da temperatura na

saída do coletor em intervalos constantes de 15 minutos.

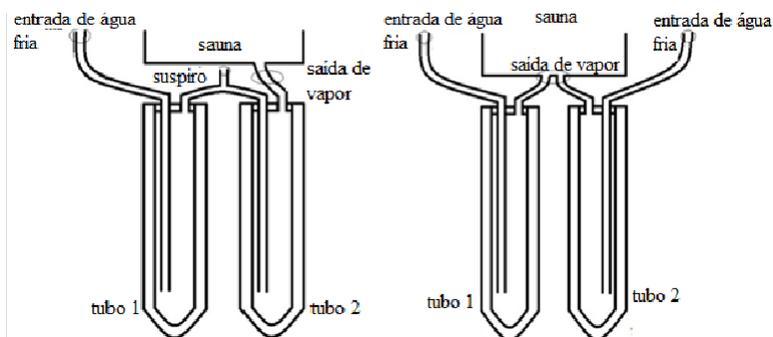


Figura 3—Esquema do sistema interno nos coletores em série e em paralelo

## 2.1 Instrumentação

As três medições de vazão do experimento foram realizadas com o uso de um rotâmetro para água líquida a temperatura de 20 °C cuja faixa de medição varia de 0,2 l/h a 2,2 l/h e sua resolução é de 0,02 l/h. Sua incerteza padrão, fornecida pelo fabricante, é de 0,01 l/h.

As cento e cinco medições de temperatura do experimento foram realizadas com o uso de termômetro tipo “espeto”, com faixa de medição de -50 °C a 300°C e resolução de 0,1 °C. Sua incerteza padrão é de 1 °C para a faixa de medição de -20 °C a 200 °C e 2 °C para as faixas de medição de -50 °C a -20 °C e de 200 °C a 300°C. Os instrumentos utilizados são mostrados na Fig. 4.



Figura 4 – Termômetro e Rotâmetro

## 3 I SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para aferição da factibilidade do que propõe este estudo, foi realizada uma simulação de um sistema de geração de vapor utilizando coletores solares do tipo *water-in-glass*, para o dia central de cada mês do ano conforme descrito por Duffie e Beckman (2006) em ambiente da plataforma de simulações de sistema dinâmico

TRNSYS (*i.e.*, *TR*Ansient *SY*stem *SI*mulation). A simulação foi realizada levando-se em conta que o sistema solar está na cidade de Belo Horizonte, local onde foram realizados também o teste de campo utilizando um coletor semelhante ao sistema real. Os resultados obtidos foram usados como base para a realização de uma análise econômica simplificada do tipo “*payback*” visando determinar o período de tempo necessário para que a economia de energia elétrica seja suficiente para cobrir os custos de instalação do sistema solar.

### Simulações Computacionais

Inicialmente foi simulada a geração de vapor no dia central de cada um dos doze meses conforme recomendam Duffie e Beckman (2006) de ano típico da biblioteca meteorológica METEONORM referente à cidade de Belo Horizonte sendo utilizada a plataforma dinâmica TRNSYS, versão 16.1. Para garantir a evaporação do fluido de trabalho (*i.e.*, água) e uma taxa de produção de vapor mais constante, testes de campo foram realizados com o protótipo para definir uma vazão que possibilitasse o início da evaporação do fluido em um período de aproximadamente uma hora a contar do início do teste, a saber: 11:00 AM. O objetivo deste teste foi determinar uma vazão que proporcionasse uma resposta razoavelmente rápida do sistema. Com base nesses testes, recomenda-se que sejam sempre utilizadas baixas vazões. Para a área de coleção utilizada nos testes, uma das vazões que atendia a esse requisito foi a de 0,44 l/h  $\pm$  0,01 l/h de água. Foram realizadas três medições dessa vazão com rotâmetro para água. Essa vazão foi utilizada como parâmetro para simulações computacionais.

Simulações prévias foram realizadas com o intuito de determinar a área ótima de coletores do tipo evacuado *water in glass* para um sistema de sauna realque opere a vazão supracitada e temperatura inicial de 20 °C. Para o cálculo de otimização da área de coleção, tomou-se aleatoriamente como referencial os dias 75, 228 e 288. Foram tomados dados do catálogo do fabricante, tais como área do tubo absorvedor, mas foi utilizado o ângulo de inclinação em relação ao solo de 10° conforme recomendação de Bracamonte et al. (2015), a temperatura do dia; a radiação total recebida e a temperatura do dia são fornecidas para cada hora do dia médio pela biblioteca meteorológica METEONORM. A área de coleção foi então variada de 0,66 m<sup>2</sup> a 5,28 m<sup>2</sup>, mantendo-se constantes todos os parâmetros dimensionais do coletor e adicionando cada vez mais tubos coletores em série. Também foram mantidos constantes todos os demais parâmetros, tais como vazão, temperatura de entrada do fluido de trabalho no coletor, ângulo de inclinação do coletor em relação ao solo igual a 10° com o coletor voltado para o Norte geográfico ao meio dia solar, dia do ano médio típico. As simulações apontam o valor de 2,815m<sup>2</sup> como área ótima para todos os dias simulados, segundo se observa na Fig.

5. Portanto, fica evidente que o sistema segue uma tendência firmemente definida no que tange a relação entre sua temperatura e área de coleção. O ajuste polinomial das curvas apresentadas na Fig.5 possui coeficiente de correlação de 0,999 sendo expresso pela Eq. (1).

$$T = -10,498a^2 + 59,079a + 32,2067 \quad (1)$$

Onde:  $T$  é a temperatura máxima atingida pelo fluido durante a operação e  $a$  representa a área de coleção. Conforme explicam Duffie e Beckman(2006), o aumento da área de coleção implica também num aumento de área de troca de calor com o ambiente e, conseqüentemente, em maiores perdas no sistema, ainda que este opere na condição de evacuação. Apesar dos resultados teóricos obtidos, optou-se pela execução de todos os testes computacionais com base na área comercialmente disponível mais próxima àquela recomendada pelas simulações. Os tubos possuem 0,037 m de diâmetro interno; 0,047 m de diâmetro externo e 1,5 m de comprimento. Deste modo a área comercial mais próxima àquela apontada pelas simulações é 2,99 m<sup>2</sup> conforme informações do catálogo do fabricante do coletor.

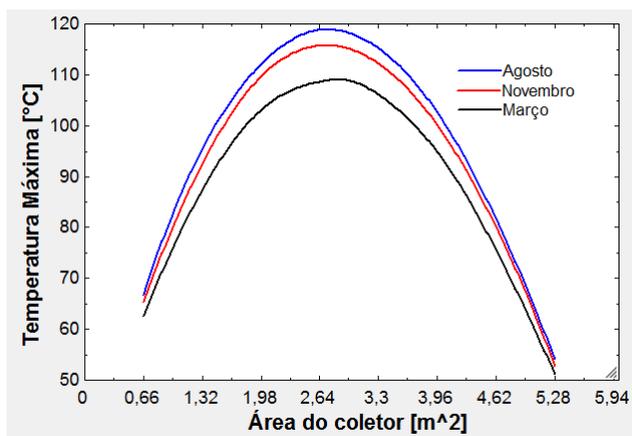


Figura 5 – Temperatura máxima de saída do fluido de trabalho em função da área de coleção solar para os meses de março, agosto e novembro.

Para estimar o comportamento de um sistema real, não só ao longo dos meses de maior incidência de radiação solar no hemisfério sul, mas, principalmente, naqueles de menor captação radiativa, foram geradas simulações, para que estatisticamente, fosse estimada a temperatura do fluido ao longo das horas do dia

médio de cada mês do ano médio típico da biblioteca meteorológica METEONORM, referente à cidade de Belo Horizonte. Também, para fins de cálculo de potência real gerada pelo sistema, a densidade da água de trabalho foi tomada em função da temperatura média da substância pura ao longo do dia de operação, disponível em Moran e Shapiro (2006), a se contar a partir das 9:00 até as 16:00 horas. A temperatura do dia e a radiação total recebida são fornecidas para cada hora do dia médio pela biblioteca meteorológica METEONORM; as simulações foram realizadas para um ângulo de incidência de 10° e a temperatura inicial da água de alimentação do sistema foi considerada igual a 25 °C. Foram tomadas amostras aleatórias de seis temperaturas para cada dia central de cada mês para cálculo da temperatura média do dia.

As simulações mostram que a geração direta de vapor é possível durante vários meses do ano, especialmente naqueles que compõem a primavera e o verão austrais, e também durante alguns meses de estiagem da região do cerrado onde se situa a cidade de Belo Horizonte.

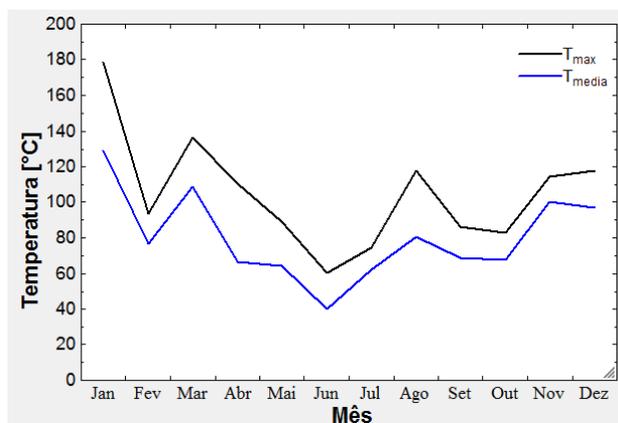


Figura 6 – Temperaturas de saída do sistema gerador de vapor e temperaturas médias referentes ao ano médio típico.

Os resultados mostram que nem sempre o sistema proposto será capaz de fornecer quantidades significativas de vapor, ou mesmo algum vapor durante os meses mais frios do ano conforme dados apresentados na Tab. 1. Deste modo, o uso de sistemas de geração elétricos ou a gás não poderá ser completamente eliminado do sistema de operação de uma sauna, mas é possível minimizar a necessidade de seu uso em prol de um sistema de geração completamente limpo e renovável através o uso de água previamente aquecida.

Mês	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>média</sub> (°C)
Jan	178,4	129,1
Fev	93,4	76,7
Mar	136,6	108,7
Abr	110,2	66,6
Mai	88,8	64,2
Jun	60,2	39,9
Jul	74,1	62,2
Ago	118,0	80,5
Set	86,4	67,0
Out	83,1	67,6
Nov	114,6	100,1
Dez	118,0	96,8

Tabela 1 – Temperaturas máximas e médias do sistema de aquecimento ao longo do ano médio típico

## Medições de campo

Para realização das simulações, os coletores foram montados a um ângulo de 10°, conforme recomendam Bracamonte et al. (2015) com azimute igual a 180°. Em todos os testes, os tubos coletores foram cheios até o limite recomendado pelo fabricante, enquanto a válvula de entrada de água de alimentação foi mantida fechada até que a água dos tubos atingisse seu ponto de ebulição que, na cidade de Belo Horizonte, cuja altitude é de 852,19 m nos dias simulados foi  $(98,1 \pm 0,9)^\circ\text{C}$ . Ao atingir-se o ponto de ebulição a válvula foi então aberta para alimentar os coletores com a já referida vazão de  $0,44 \text{ l/h} \pm 0,1 \text{ l/h}$  para cada tubo operando em paralelo, ou para cada série de tubos.

As medições aqui apresentadas foram realizadas tanto para dias com alto índice de insolação quanto para dias fortemente nublados e são referentes aos dias 04, 06, 09, 12 e 13 do mês de novembro do ano de 2015. Foram realizadas, no total, vinte e uma horas de medições, o que resultou numa amostra de cento e cinco medições de temperatura de saída do protótipo.

A irradiância ( $\text{W/m}^2$ ) recebida pelo coletor durante as horas de operação são fornecidos por INMET (i.e., Instituto Nacional de Meteorologia) (2015), coletados pela estação automática “Cercadinho”, localizada a aproximadamente 2,5 km de distância do local de realização do experimento. São também dados do INMET (2015) a temperatura média horária e temperatura máxima do dia. A incerteza referente às medições de temperatura e da radiação recebida não é claramente informada pelo INMET (2015), deste modo, a incerteza apresentada para a temperatura média do dia se refere apenas à distribuição normal das temperaturas ao longo do período

de experiência com intervalo de confiança de 95%. O tempo de experimentação foi diferente nos diferentes dias de teste devido à ocorrência de tempestades e, até mesmo, à quebra dos coletores por impacto.

### Modelo Matemático

O calor útil gerado é a medida da capacitância térmica do fluido e é dado por:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

Onde  $\dot{m}$  é a vazão mássica de fluido 0,44 kg/h,  $C_p$  é o calor específico à pressão constante da água em (J/kg.K) e  $\Delta T$  a variação de temperatura da água obtida em uma hora ou, em 3.600 segundos. A eficiência do equipamento pode ser calculada através de dados da irradiância ( $W/m^2$ ) fornecidos por INMET (i.e., Instituto Nacional de Meteorologia) (2015). Essa é dada pela Eq. 3:

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot a} \quad (3)$$

Onde  $Q$  é o calor útil gerado pelo sistema,  $I$  a irradiância referente a cada hora do período de experimentação e  $a$  é a área do coletor do protótipo que, conforme anteriormente mencionado, é de  $0,33 \text{ m}^2$ . Este sistema foi comparado a uma sauna elétrica convencional cuja alimentação seja feita por um gerador de vapor condensador comercial monofásico cujo consumo de potência elétrica é  $Q_e = 12 \text{ kW}$  e força eletromotriz requerida é  $F. E. M. = 220 \text{ V}$ .

A sauna solar aqui proposta supostamente opera 8 horas por dia e, tomando-se a hipótese conservadora de que o sistema seja completamente autônomo apenas durante as duas horas de maior insolação do dia e opere à temperatura média do fluido ( $72,6^\circ\text{C} \pm 3,7^\circ\text{C}$ ) medida durante os experimentos nas demais horas, utilizando-se, para isso, um sistema elétrico auxiliar que garanta a ebulição do fluido. Sua área de coletores solares deve ser a área comercial mais próxima àquela da área ótima de coleção, conforme mencionado anteriormente,  $2,99\text{m}^2$ . Isso equivale a 18 tubos comerciais operando em paralelo ou 9 séries de dois tubos. A vazão experimentada para cada tubo operando em paralelo ou para cada série de tubos é  $0,44 \text{ l/h} \pm 0,1 \text{ l/h}$ . A vazão total adequada à essa área de coleção operando em paralelo então deverá ser de  $7,92 \text{ l/h} \pm 0,01 \text{ kg/h}$ , ou de  $3,96 \text{ l/h} \pm 0,01 \text{ kg/h}$  operando em série. Além disso, é interessante considerar que o sistema real somente seja capaz de atingir a temperatura de ebulição durante seis meses do ano. Tal consideração baseia-se nos resultados das simulações computacionais, que são explicitados em Tab. 1. Segundo estes resultados, a temperatura de saída da água dos coletores não será suficiente para iniciar a ebulição durante os meses de fevereiro, maio, junho, julho, setembro e outubro. Assim, é aceita a hipótese de que o sistema opere constantemente auxiliado por evaporador elétrico. Desse

modo, o cálculo do custo anual do sistema solar deve ser feito em duas etapas. A primeira delas é referente aos meses em que a sauna é capaz de gerar vapor e possui uma certa autonomia. Isso ocorre durante 184 dias do ano conforme Tab. 1. Deste modo a equação que descreve o consumo da sauna solar tem a forma:

$$C_1 = k * n * t * Q_{s1} \quad (4)$$

Onde  $C_1$  é o custo referente aos meses do ano em que as simulações computacionais indicam que a ebulição pode ocorrer,  $k$  é o custo do kWh com base na tarifa B3 da Cemig (i.e; Companhia Energética de Minas Gerais) (2015);  $n$  o número de dias do ano,  $t$  o tempo diário, em horas, de operação do sistema solar, no caso 5 horas; e  $Q_{s1}$  é a potência elétrica requerida para elevar a temperatura média do fluido até a temperatura média de ebulição. Deste modo  $Q_{s1}$  no regime permanente é descrito por:

$$Q_s = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{ebulição} - T_{média}) \quad (5)$$

$$Q_s = 0,44 \left( \frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left( \frac{h}{s} \right) \cdot 1478 \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot [(99,0 - 68,9) + 273 (K)] \quad (5a)$$

$$Q_s = 0,44 \left( \frac{kg}{h} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left( \frac{h}{s} \right) \cdot 1478 \left( \frac{J}{kg \cdot K} \right) \cdot [(97,2 - 76,3) + 273 (K)] \quad (5b)$$

A equação 5a refere-se aos limites superiores da temperatura de ebulição e da temperatura média, ou seja, a maior diferença de temperatura possível dentro do intervalo de confiança. A equação 5b refere-se aos limites inferiores da temperatura de ebulição e da temperatura média, ou seja, a menor diferença de temperatura possível dentro do intervalo de confiança. O cálculo da potência requerida para os demais 181 dias do ano é feito de maneira análoga, no entanto, considera-se que o tempo de operação do gerador de vapor condensador é de 8 horas diárias, conforme mencionado anteriormente. O termodinâmico utilizado para cálculo das grandezas de interesse deste estudo é demonstrado por Moran e Shapiro (2006).

## 4 I RESULTADOS

Os resultados obtidos mostram que, para ambos os tipos de arranjo, série ou paralelo, foi possível gerar vapor, mesmo em dias de grande nebulosidade. A Tab.2 apresenta os resultados de experimentos realizados durante o mês de novembro do ano de 2015. As temperaturas médias dos dias experimentados apresentadas por Tab.2 foram calculadas com base na temperatura média das horas de experimentação. As medições de temperatura do fluido foram tomadas na saída dos coletores, em intervalos constantes de 15 minutos, e totalizaram 105 medições. A Temperatura máxima do fluido apresenta incerteza indicada pelo fabricante do instrumento de medição mostrado em Fig. 4.

Dia	Característica	Temperatura Média do Dia (°C)	Temperatura Máxima do Dia (°C)	Temperatura Máxima do Fluido (°C)	Temperatura Média do Fluido (°C)	Calor Útil Gerado (W/m <sup>2</sup> )	Rendimento Médio Diário (%)	Ocorrências
04/ nov	Arranjo em série Dia claro	30,2±1,1	31,7	98,0 ± 0,1	87,6±6,6	9,87 ± 18,25	0,97 ± 1,81	Tempo Total de simulação: 2:15 Ponto de ebulição 97,8°C Os coletores se romperam por impacto forçando o fim da simulação
06/ nov	Arranjo em paralelo Dia parcialmente nublado	30,4 ± 0,5	31,5	98,5 ± 0,1	88,6 ± 6,0	7,11 ± 13,74	0,49 ± 2,08	Tempo Total de simulação: 5:30h Ponto de ebulição 98,5°C Tempo Total de sombreamento: 2:30h
09/ nov	Arranjo em paralelo Dia nublado	23,3 ± 1,4	26,1	88,0 ± 0,1	59,2 ± 7,8	10,28 ± 5,69	2,35 ± 1,70	Tempo Total de simulação: 6:15h Ponto de ebulição 98,5°C Tempo Total de sombreamento: 6:15h
12/ nov	Arranjo em paralelo Dia nublado	28,4 ± 0,6	29,1	67,6 ± 0,1	62,8 ± 2,4	1,78 ± 16,54	0,23 ± 2,35	Tempo Total de simulação: 3:30h Não houve ebulição Tempo Total de sombreamento: 2:30h Tempestades forçaram o fim da simulação
13/ nov	Arranjo em série Dia Nublado	28,8 ± 1,1	29,9	98,2 ± 0,1	79,0 ± 11,7	14,58 ± 24,18	1,71 ± 2,66	Tempo Total de simulação: 3:15h Ponto de ebulição 98,1°C Tempo Total de sombreamento: 0:30h Tempestades forçaram o fim da simulação

Tabela 2 – resultados das simulações de campo

Os valores de temperatura média do fluido ao longo do dia foram medidos na saída dos coletores e são apresentados na Tab. 2 com incerteza combinada de medição  $\pm 5\%$ . Os resultados obtidos mostram que, tanto durante as simulações com arranjo em série dos coletores quanto aquelas com arranjo em paralelo, foi possível se gerar vapor, mesmo em dias parcialmente nublados. O comportamento dinâmico dos sistemas diferiu no fato de que houve a formação de um bolsão de vapor na área de curvatura da tubulação de interligação dos coletores quando montados em série, o que se tornou um obstáculo ao fluxo de fluido. Deste modo, houve necessidade de se instalar um suspiro na parte mais alta da tubulação de ligação entre o coletor de pré-aquecimento e o de evaporação. As temperaturas atingidas foram bastante similares em ambos os casos. No entanto, o arranjo em série demonstrou ter a capacidade de iniciar o processo de ebulição mais rapidamente se comparado ao arranjo em paralelo. Este fenômeno, juntamente com a influência da formação de

bolsões de vapor na tubulação da sauna além uma análise do desempenho do sistema operando com outros ângulos de inclinação são de interesse dos autores e serão objetos de estudos futuros.

Os resultados obtidos pelo experimento diferem consideravelmente daqueles obtidos em simulações computacionais, e isso pode, em parte, ser atribuído ao fenômeno do El Niño experimentado pela América do Sul no segundo semestre de 2015. A Organização Meteorológica Mundial (2015) alerta que nesse ano o El Niño será o mais forte dos últimos 65 anos, tornando o ano de 2015 um ano atípico. Esse fenômeno pode ter interferido diretamente na eficiência do experimento. Observa-se em Tab. 3 que o protótipo permaneceu sombreado durante 57,83% do tempo de simulação, o que pode ter tido influência na temperatura média de saída do fluido.

Temperatura Média de Ebulição	98,1 ± 0,9 °C
Temperatura Média do Fluido	72,6 ± 3,7 °C
Tempo Percentual de sombreamento	57,83%

Tabela 3 – Temperaturas médias de saída e ebulição e tempo de sombreamento

Ainda assim os resultados obtidos são positivos. Uma análise financeira realizada com base nos resultados dos testes em campo mostra que, em comparação a uma sauna elétrica comercial, A Tab. 4 mostra ainda o custo anual máximo de operação da sauna, calculado para o limite inferior do intervalo de confiança da temperatura média do fluido.

Operação em Paralelo		
	Custo Sauna Solar	Custo Sauna Elétrica
limite superior	R\$ 401.36	R\$ 19,438.09
limite inferior	R\$ 252.72	
Operação em Série		
	Custo Sauna Solar	Custo Sauna Elétrica
limite superior	R\$ 200.68	R\$ 19,438.09
limite inferior	R\$ 126.36	

Tabela 4 – Custos anuais de operação

Na hipótese deste sistema ser aplicado a saunas secas o sistema é auto-suficiente ao longo de todo ano, já que este recebe calor de um radiador térmico. É indispensável que este sistema disponha de um dispositivo controlador de temperatura para que a mesma não ultrapasse 60 °C garantindo a segurança do

usuário da sauna.

## 5 | CONCLUSÃO

O estudo apresentado investigou o uso de coletores solares do tipo tubo evacuado water-in-glass na geração de vapor para alimentação de saunas a vapor, aqui denominadas saunas solares. Seu funcionamento foi simulado através de métodos computacionais e, também testes em campo. Foi Proposto um sistema de tubos conectados em série e outro em paralelo. Simulações realizadas mostram que o protótipo pode operar de maneira autônoma, ou seja, sem a necessidade de sistemas elétricos auxiliares, durante aproximadamente metade do ano no caso de saunas a vapor e durante todo o ano no caso de saunas secas. Foi possível, através deste sistema, obter um grande ganho energético no suprimento da demanda energética de uma sauna comercial convencional. O custo de um feixe de tubos coletores de 2,99m<sup>2</sup>de área é de aproximadamente R\$ 3.200,00; o que transforma o sistema num investimento altamente interessante.

É necessário que haja cada vez mais esforços por parte da sociedade, de governos e na comunidade científica no sentido de que informações a respeito de energias limpas e renováveis sejam mais amplamente difundidas e sua tecnologia se torne cada vez mais acessível.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Eduardo Lopes Barbieri pela e ao Prof. Dr. André Guimarães Ferreira pela orientação.

À Escola Estadual Técnico Industrial Professor Fontes por gentilmente ceder o uso de seus laboratórios e demais dependências aos autores.

Ao Sr. Eng<sup>o</sup>. Flávio Pacelli Ziviani de Oliveira e ao Sr. Marcos Thalles Ferreira Melo pelo suporte técnico sem o qual este trabalho não seria possível.

## REFERÊNCIAS

Alfaro-Ayala J. A., Martínez-Rodríguez G., Picón-Núñez, M., Uribe-Ramírez A. R., Gallegos-Muñoz A., 2015. Numerical Study of a Low Temperature Water-in-glass Evacuated Tube Solar Collector. Energy Conversion and Management Journal, ed. 94, págs.472–481.

Morrison, G.L., Budihardjo I., Behnia M., 2004. Water-in-glass evacuated tube solar water heaters. Solar Energy edição 74; págs 135–40.

Lin W. M., Chang K.C., Liu Y. M., Chung K. M, 2012. Field Surveys of Non-Residential Solar Water Heating Systems in Taiwan. Energies Journal, ed. 5, págs.258–69.

Li R., Dai Y., Wang R., 2015. Experimental investigation and simulation analysis of the thermal performance of a balcony wall integrated solar water heating unit. *Renewable Energy*;75:115–22.

Giostrì, A., Binotti M., Astolfi M., Silva P., Macchi E., Manzolini G., 2012. Comparison of Different Solar Plants Based on Parabolic Trough Technology. *Solar Energy Journal*, ed. 86, pages 1208–1221.

Bracamonte J., Parada J., Dimas J., Baritto M., 2015. Effect the Collector Tilt Angle on Thermal Efficiency and Stratification of Passive Water in Glass Evacuated Tube Solar Water Heater. *Applied Energy Journal*, ed. 155, págs 648–659.

Duffie J. A., Beckman W. A., 2006. *Solar Engineering of Thermal Processes – GearTeam.4<sup>a</sup>* ed, John Wiley & Sons Ltd. Moran M. J., Shapiro, H. N., 2006. *Princípios de Termodinâmica Para Engenharia - 5<sup>a</sup> Ed, LTC.*

Instituto Nacional de meteorologia, 2015. Estações Automáticas em Belo Horizonte. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Visitado em 22 de novembro de 2015

Organização Meteorológica Mundial, 2015. El Niño Expected to Strengthen Further: High Impacts, Unprecedented Preparation. Disponível em: <<https://www.wmo.int/media/content/el-ni%C3%B1o-expected-strengthen-further-high-impacts-unprecedented-preparation>>. Visitado em 24 de novembro de 2015

Companhia Energética de Minas Gerais, 2015. Valores De Tarifa e Serviços. Disponível em <[https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>. Visitado em 25 de novembro de 2015,

## A SERRA GAÚCHA EM TONELADAS – GERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NOS ANOS DE 2014 E 2015

Data de aceite: 01/12/2020

### Francine Zanatta

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/8181137063935359>

### Henrique Di Domenico Ziero

Universidade Estadual de Campinas  
<http://lattes.cnpq.br/3456094381847985>

### Thiago de Castilho Bertani

Imagem, ESRI. Ribeirão Preto, São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9856311660279069>

### Clódís de Oliveira Andrades Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Rio Grande do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/5801114574367868>

### Rejane Maria Candiota Tubino

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre, Rio Grande do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/5775852172717383>

### Ana Carolina Tramontina

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul  
São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/5887389004235035>

**RESUMO:** Inúmeras são as legislações existentes no Brasil visando preservar o meio ambiente. Em se tratando de resíduos sólidos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - 12.305/2010), tem como objetivo controlar a gestão de resíduos, bem como fomentar o desenvolvimento de uma cadeia de soluções

para gestão correta dos resíduos gerados. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo apresentar o cenário de geração de resíduos industriais nos anos de 2014 e 2015 na Serra Gaúcha, região que possui significativa representatividade econômica para o estado do Rio Grande do. Foi possível observar os expressivos volumes de geração de resíduos sólidos industriais na região, em especial por municípios que possuem alto desenvolvimento econômico e diversificada atividade industrial. Também foi possível verificar que a região produz maior quantidade de resíduos de classe II - não perigosos, se comparados a Classe I - perigosos, evidenciado assim a necessidade de desenvolvimento de uma estrutura que atenda e apoie a gestão e destinação dos resíduos gerados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo, Serra Gaúcha, legislação ambiental.

### SERRA GAÚCHA IN TONS - MANAGEMENT OF INDUSTRIAL WASTE IN THE YEARS OF 2014 AND 2015

**ABSTRACT:** Countless laws exist in Brazil aiming to preserve the environment. In the case of solid waste, the National Policy on Solid Waste (PNRS - 12.305 / 2010), aims to control waste management, as well as foster the development of a chain of solutions for the correct management of waste generated. In this sense, this work aimed to present the scenario of industrial waste generation in 2014 and 2015 in Serra Gaúcha, a region that has significant economic representativeness for the state of Rio Grande do. It was possible to observe the

expressive volumes of generation of solid industrial waste in the region, especially by municipalities that have high economic development and diversified industrial activity. It was also possible to verify that the region produces a greater amount of Class II waste - non-hazardous, when compared to Class I - hazardous, thus evidencing the need to develop a structure that meets and supports the management and destination of the generated waste.

**KEYWORDS:** Industrial, Serra Gaúcha, environmental legislation.

## 1 | INTRODUÇÃO

A relação entre o desenvolvimento econômico e a geração de resíduos é amplamente conhecida e discutida. O relatório “The Limits to Grow”, de 1972, já chamava atenção para o fato de que a expansão econômica contínua seria, de certa forma, incompatível com a sustentabilidade ambiental (MEADOWS *et al.*, 1972).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE), em 2017 o estado do Rio Grande do Sul ocupava a quarta posição no ranking econômico brasileiro, com Produto Interno bruto (PIB) de R\$ 423 bilhões no referido ano (IBGE, 2017). O eixo Porto Alegre-Caxias do Sul, que abrange o Conselho Regional de Desenvolvimento (COREDE) Serra, apresenta uma grande concentração espacial de indústrias, sendo que o eixo responde por 57,8% do valor adicionado bruto da indústria no estado, com um perfil bem distribuído em vários segmentos (RIO GRANDE DO SUL, 2017), o que leva a uma geração de diversos tipos de resíduos de produção.

A Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE) demonstrou que, no ano de 2016, o Brasil apresentava um passivo ambiental de resíduos sólidos industriais (RSI) de aproximadamente 58 milhões de toneladas. Ainda de acordo com a ABETRE, o custo para tratamento e remediação de áreas impactadas pelo descarte de resíduos pode chegar mais de um bilhão e meio de reais por ano (ABETRE, 2016).

Inúmeras legislações foram criadas a nível federal, estadual e municipal com objetivo de controlar e direcionar as práticas relativas a correta gestão dos resíduos gerados nos processos produtivos. Entre elas, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS- lei federal 12.305 de 2010) tem papel fundamental e central. Esta lei foi desenvolvida sobre princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. De acordo com a PNRS, o gerador tem responsabilidade sobre os resíduos, e deve desenvolver mecanismos para redução da geração a partir de processos mais eficientes, adequação de matérias primas, alteração do layout de produção, entre outros. Em caso de geração de resíduos, estes devem ser destinados corretamente em processos que incluam, preferencialmente, o reaproveitamento através de

reciclagem ou geração de energia, e caso isso não seja possível, deve ser dada a correta destinação final (BRASIL, 2010).

Para a busca da sustentabilidade no modelo produtivo, é essencial que se busquem novos modelos de produção que busquem não apenas a menor geração de resíduos, mas também o prolongamento da vida útil do que é produzido (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Para isso, o sistema de Economia Circular vem sendo cada vez mais estudado e desenvolvido. Este sistema visa auxiliar empresas na minimização do impacto ambiental causado pelo seu processo produtivo através de análise de todas as etapas, desde a concepção do produto, uso de matérias primas, design, embalagem e até mesmo distribuição dos mesmos, buscando a saúde geral do sistema produtivo (MACARTHUR, 2014).

Para que se possa conhecer os possíveis impactos causados pela gestão inadequada de RSI gerados em um determinado local, é essencial que se conheça o mercado gerador de resíduos, e a partir disso se busquem alternativas para minimização deste problema. Com objetivo de se conhecer o mercado gerador de RSI do RS, este estudo teve como objetivo realizar levantamento dos resíduos gerados na região da Serra Gaúcha nos anos de 2014 e 2015.

## 2 I MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado a partir de levantamento do volume de resíduos gerados (em toneladas) em 32 municípios, conforme demonstrado na figura 1.

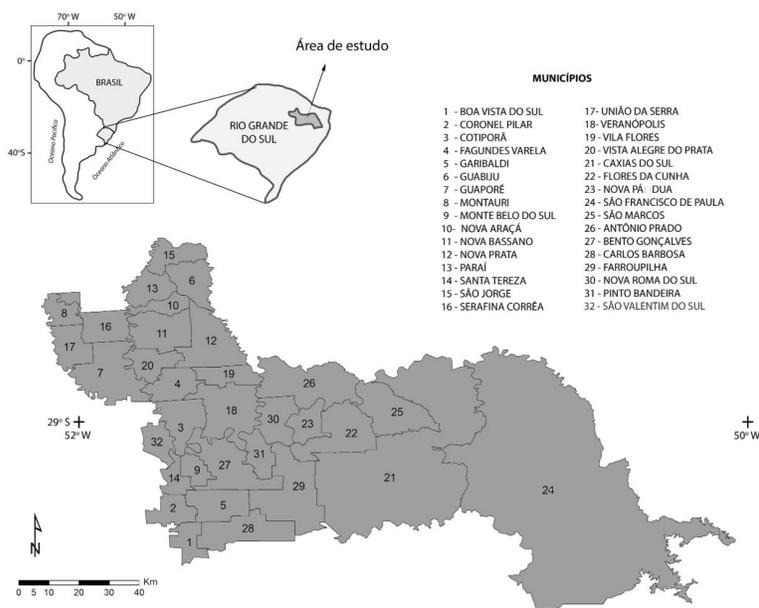


Figura 1- Área de realização do estudo

Foram utilizados os dados sobre a geração de RSI nos anos de 2014 e 2015 fornecidos pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler), a partir de informações disponibilizadas pelas empresas licenciadas por este órgão. Os resíduos foram avaliados de acordo com sua classe (classe I e II) e a quantidade (em toneladas) gerada nos anos em questão.

Os mapas foram obtidos pelo método de quebras naturais, que identifica pontos de quebra que melhor agrupem valores similares e maximizem a diferença entre as classes (LOCH, 2006), e foram gerados através da utilização do Sistema de Informações Geográficas ArcGis.

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano de 2014 foi possível observar que 10 municípios (São Francisco de Paula, Pinto Bandeira, Monte Belo, Santa Tereza, Coronel Pilar, Serafina Correa, Montauri, Guabiju, São Jorge e Nova Pádua) geraram exclusivamente resíduos de classe II, enquanto Fagundes Varela e União da Serra geraram apenas resíduos de classe I. Os demais municípios apresentaram geração mista de resíduos (classe I e II), e entre eles, 9 apresentaram mais de 50% de RSI de classe I (Paraiá, Guaporé, Veranópolis, Nova Roma do Sul, Boa Vista do Sul, Nova Bassano, Carlos Barbosa, São Marcos e Flores da Cunha), enquanto Caxias do Sul, Farroupilha, Garibaldi, Cotiporã, Nova Prata, Bento Gonçalves, Vila Flores, Vista Alegre do Prata e São Valentin apresentaram geração maior de resíduos classe II (Figura 2).

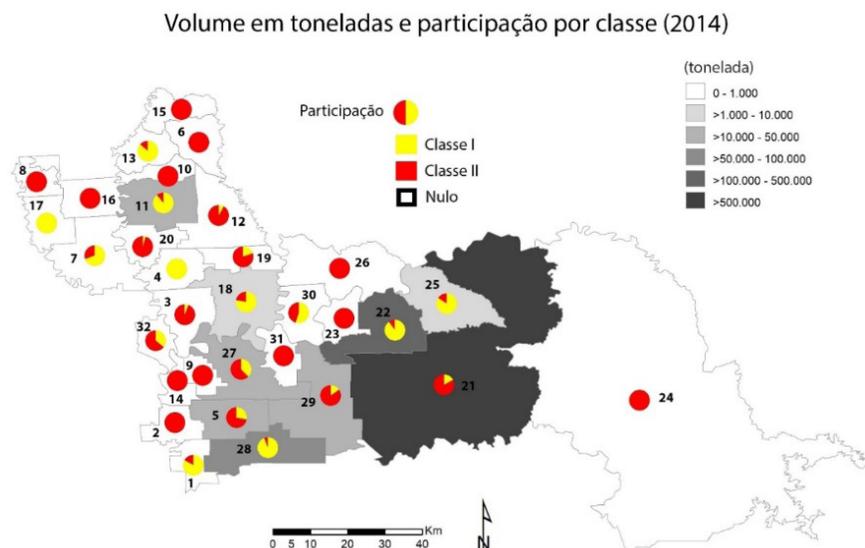


Fig. 02 – Volume em toneladas 2014

Ao longo do ano de 2015, foi possível observar um incremento no número de municípios que geraram apenas RSI de classe II (21 dos municípios avaliados), enquanto apenas União da Serra gerou exclusivamente RSI de classe I. Os municípios de São Marcos, Farroupilha, Carlos Barbosa, Bento Gonçalves, Veranópolis, Vila Flores e Guaporé geraram predominantemente RSI de classe II. Para os municípios de Coronel Pilar, Santa Tereza e Vista Alegre do Prata não foi relatada a geração de RSI avaliados na medida de toneladas para o ano de 2015 (Figura 3).

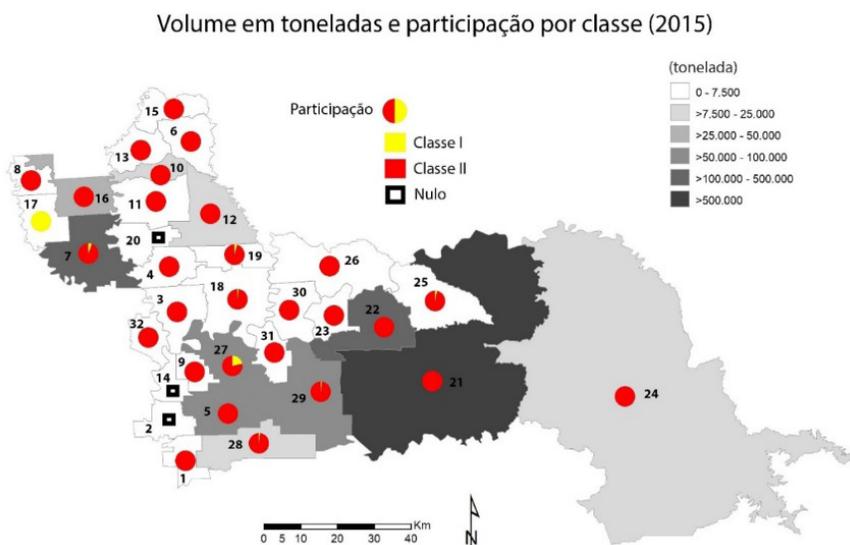


Fig. 03 – Volume em toneladas 2015

De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar uma maior concentração de geração de resíduos, independente da tipologia, nos municípios de Caxias do Sul, Flores da Cunha, Bento Gonçalves e Nova Prata. No perfil socioeconômico do estado publicado pela Secretaria de Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional, em 2012 o município de Caxias do Sul apresentava o maior PIB do COREDE Serra, seguido por Bento Gonçalves. Ainda de acordo com o estudo, o valor adicionado bruto da indústria nesses dois municípios era de grande destaque (RIO GRANDE DO SUL, 2015). Desta forma, é possível observar que os municípios com maior geração de RSI são justamente aqueles que apresentam uma grande participação da indústria na economia, e consequentemente, maior desenvolvimento socioeconômico.

Nos dois anos avaliados, a região gerou RSI de classe II (não perigosos) em maior quantidade, quando comparados com os de classe I. A tipologia do resíduo define o destino final ou o prestador de serviço ambiental que irá receber o resíduo.

A significativa geração deste tipo de resíduos está relacionada à presença de um grande número de indústrias de alimentos e bebidas na região, as quais geram um expressivo volume de resíduos em função dos descartes realizados no processo produtivo, e também em função do significativo volume de lodo orgânico, gerado após o processo de tratamento do efluente industrial.

É importante salientar que mesmo tendo sido gerados em menor quantidade, deve-se dar atenção especial aos resíduos perigosos (Classe I), visto que podem causar impactos significativos quando não geridos da maneira correta. Os empreendimentos que tratam ou dispõe resíduos desta classe necessitam, obrigatoriamente, de maiores investimentos e controle ambiental. A região da Serra Gaúcha não apresenta número expressivo de empreendimentos que processem estes materiais, o que torna o seu gerenciamento mais dispendioso, visto que a logística para sua destinação é mais complexa.

O estado do RS apresenta algumas legislações específicas sobre o destino de RSI de classe I, tais como a Portaria 16 de 2010, que determina que os resíduos com alto poder calorífico devem ser enviados para processos que busquem seu aproveitamento energético (RIO GRANDE DO SUL, 2010). O estado possui duas plantas licenciadas para geração de combustível derivado de resíduos, que possuem capacidade de receber até 7 mil toneladas/mês de resíduos de classe I e II. De acordo com a portaria supracitada, o processo demonstra ser a destinação mais segura para resíduos Classe I com características de inflamabilidade, porém ainda apresenta alto custo do tratamento e logística, o que dificulta a escolha dos gerados pelo processo.

Os resultados observados demonstram que a região da Serra Gaúcha apresentou, nos anos de 2014 e 2015, geração de RSI tanto de classe I como de classe II, sendo a segunda gerada em maior quantidade. Além disso, foi possível observar que municípios com maior desenvolvimento econômico apresentaram maior geração de resíduos, o que corrobora com a relação entre estes processos.

Os dados obtidos demonstram que há grande geração de RSI na Serra Gaúcha, e independente de sua tipologia, estes devem ser destinados adequadamente. Um estudo recente avaliou a geração total de RSI em 2014 e 2015 na região em questão. A partir dos dados publicados por Zanatta e colaboradores, é possível observar que mais de 50% do volume total de resíduos gerados não apresentava destinação adequada informada no momento do lançamento dos dados na planilha da FEPAM, o que prejudica o acompanhamento dos mesmos a partir de sua geração (ZANATTA *et al.* 2020).

É fato que, desde 2018, a FEPAM acompanha a geração de resíduos gerados pelas empresas através do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) Online, exigido pela Portaria 087/2018, permitindo maior rastreabilidade da geração

e destinação dos mesmos (RIO GRANDE DO SUL, 2018).

O acompanhamento da geração de RSI é de extrema importância, tendo em vista todos os prejuízos ambientais que a sua disposição inadequada pode causar. Novos estudos se mostram necessários a fim de verificar se a implementação do MTR online trouxe resultados, e para garantir que ações relativas à sustentabilidade dos processos produtivos possam ser realizadas de acordo com o painel de produção local.

## 4 | CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos foi possível verificar que a região da Serra Gaúcha apresenta extensa geração de RSI, sendo necessário o desenvolvimento de processos para sua gestão, buscando minimizar o impacto ambiental. Para isso, é imprescindível que os órgãos ambientais competentes desenvolvam mecanismos que facilitem e apoiem controles, identificando possíveis desvios que venham a ocorrer durante o processo.

Com conhecimento dos locais de geração e tipologia dos RSI gerados, os processos de implementação de políticas de controle, logística reversa e outros são facilitados e customizados de acordo com a realidade local, fazendo com que a chance de sucesso dos empreendimentos de gestão de resíduos seja maior, e como consequência, fomenta a criação de um mercado de prestação de serviço ambiental, ainda pouco desenvolvido no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E EFLUENTES (ABETRE). **Sustentabilidade**. EcoDebate. 2016. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2016/09/21/passivo-ambiental-da-industria-brasileira-e-estimado-em-rdollar-166-bilhoes-aponta-abetre/>. Acesso em outubro de 2020.

ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA ENCOSTA SUPERIOR DO NORDESTE. **Relatório da Amesne para instalação da Ufrgs na Serra**. Disponível em: <http://www.amesne.com.br/files/relatorio-da-amesne-para-embasamento-da-instalacao-do-campus-da-ufrgs-na-serra.pdf>. Acessado em 17 agosto 2017.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em 27 de dezembro de 2017.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo a economia Circular**. 2014. Disponível em: [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a-a%CC%80-economia-circular\\_Updated\\_08-12-15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-a-a%CC%80-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf). Acesso em outubro de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM. **Portaria N° 016/2010, de 20 de Abril de 2010**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria016-2010.pdf> . Acesso em: 15 dezembro 2017.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produto Interno Bruto (PIB)**. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em outubro de 2020.

LOCH, R.E.N.; **Cartografia: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis – SC: Ed. Da UFSC, 2006;

MEADOWS, D. H. et al. **The limits to growth**. New York: Universe Books, 1972.

OLIVEIRA, F. R.; FRANCA, S.L.B; RANGEL, L.A.D. **Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais**. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 20, n. 4, p. 1179-1193, 2019.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento. **Perfil Socioeconômico COREDE Serra**. Porto Alegre, 2015. Disponível em <https://coredeserra.org.br/pagina/perfil-socioeconomico-da-rf3>. Acesso em outubro de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **RS em números: 2017** / coordenação de Tomás Amaral Torezani. -Porto Alegre : FEE, 2017. 48 p. : il.

RIO GRANDE DO SUL. Fundação de Proteção Ambiental. **Portaria FEPAM N° 087/2018**. Porto Alegre, 2018. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/LEGISLACAO/ARQ/PORTARIA087-2018.PDF> . Acesso em outubro de 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas econômico do estado do Rio Grande do Sul, Economia - PIB, 2017**. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/participacao-dos-coredes-no-vab>. Acesso em outubro de 2020.

ZANATTA, F. ZIERO, H.D.; BERTANI, T.C.; ANDRADES-FILHO, C.O.; TUBINO, R.M.C.; TRAMONTINA, A.C. **Resíduo sólido industrial na serra gaúcha: geração, tipologia e destinação**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.6, p.32805-32821 jun. 2020

## ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM MODELO ESPACIAL DE COLETA DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SP

*Data de aceite: 01/12/2020*

### **Gustavo Morini Ferreira Gândara**

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP)  
Piracicaba, São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1321857369312377>

### **Magda Adelaide Lombardo**

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP)  
Piracicaba, São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6188864471881525>

**RESUMO:** O município de São Paulo detém uma grande quantidade de fontes produtoras de óleos e gorduras residuais, que são aproximadamente 13.000 estabelecimentos. O potencial poluidor desses resíduos é imenso, faz-se necessário um programa funcional, sustentável e integrado de coleta e destinação correta para o óleo e a gordura descartados. O objetivo desse trabalho foi avaliar como é realizado o descarte do óleo residual de fritura no município de São Paulo e dar sugestões para a geração de uma política pública integrada de identificação dos focos geradores, coleta e destinação adequada desses resíduos. O descarte de óleos e gorduras residuais em locais inapropriados, prática comumente utilizada por estabelecimentos comerciais, pode causar inúmeros impactos prejudiciais ao meio ambiente, impactos estes que vão desde poluição dos mananciais e solos

até obstrução e entupimentos de redes coletoras de esgoto, ocasionando gastos desnecessários ao setor público. O aumento do número de estabelecimentos geradores de óleo residual de fritura no município de São Paulo gera também uma maior pressão sobre os sistemas de coleta de esgoto, pois a prática do descarte incorreto desses resíduos é muito comum e causa sérios problemas de entupimento e mau cheiro. Assim, esta pesquisa buscou, através do uso de geotecnologias para análise do uso da terra, avaliar como se deu o processo de ocupação urbana ao longo dos anos, e identificar as áreas onde ocorreu um maior crescimento do número de estabelecimentos geradores de gordura residual. Este trabalho teve como objetivo contribuir para a conscientização da população, empresários, empreendedores e gestores públicos quanto à problemática do descarte incorreto de óleos e gorduras residuais, criando uma cultura positiva, capaz de envolver a todos esses agentes, levando a uma política sustentável sobre esse assunto. Após um levantamento das políticas vigentes no município de São Paulo, relacionadas com os óleos residuais, verificou-se que existe apenas uma norma que regulamenta a coleta e o rerrefino de lubrificantes para máquinas em geral. A lei foi estabelecida pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 e regulamentada pelo Decreto nº 99.274 de 06 de julho de 1990, propiciando a criação de uma rede regulamentada de iniciativa particular visando o rerrefino desses resíduos. Iniciativas como as da cidade de São Francisco (EUA), voltadas especificamente para os óleos

e gorduras residuais de fritura, poderiam ser adotadas facilmente no município de São Paulo, exigiria apenas um esforço conjunto entre secretarias e a adoção de um sistema de informações geográfica (SIG), no qual fossem carregadas as bases necessárias para determinar os pontos produtores de óleo residual e o volume de descarte de cada estabelecimento. Com o cruzamento dessas informações seria possível determinar os pontos mais críticos do município, por onde o trabalho de coleta deveria ser iniciado, passando a atender todo o território ao longo da implantação do projeto. A adoção de políticas como essas beneficiam todos os municípios, além de melhorar a qualidade ambiental das áreas urbanas, evitando, assim, gastos excessivos com a manutenção das tubulações, transtornos para os cidadãos, agravamento de problemas de saúde pública, como as pragas urbanas, e criando mecanismos necessários para uma cidade sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Óleos e gorduras residuais, esgoto, uso da terra, sustentabilidade.

### ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF COLLECTION OF WASTE OIL FROM FRYING IN THE CITY OF SÃO PAULO, SP, BRAZIL, BASED ON SUSTAINABILITY

**ABSTRACT:** The municipality of São Paulo has a large number of sources producing waste oils and fats, which are approximately 13,000 establishments. The polluting potential of these residues is immense, it is necessary a functional, sustainable and integrated program of collection and correct destination for the discarded oil and fat. The objective of this work was to evaluate how the waste oil from frying is disposed of in the city of São Paulo and to give suggestions for the generation of an integrated public policy for the identification of the generating focuses, collection and proper destination of these residues. The disposal of waste oils and fats in inappropriate places, a practice commonly used by commercial establishments, can cause numerous harmful impacts to the environment, impacts that range from pollution of water sources and soils to obstruction and clogging of sewage collection systems, causing unnecessary expenses to the public sector. The increase in the number of establishments generating frying waste oil in the municipality of São Paulo also generates greater pressure on sewage collection systems, since the practice of improper disposal of these residues is very common and causes serious problems of clogging and bad smell. Thus, this research sought, through the use of geotechnologies for land use analysis, to evaluate how the urban occupation process took place over the years, and identify the areas where there was a greater growth in the number of establishments generating residual fat. This work aimed to contribute to the awareness of the population, entrepreneurs, entrepreneurs and public managers regarding the problem of incorrect disposal of waste oils and fats, creating a positive culture, capable of involving all these agents, leading to a sustainable policy on this issue. After a survey of the policies in force in the municipality of São Paulo related to waste oils, it was found that there is only one standard that regulates the collection and re-refining of lubricants for machines in general. The law was established by

CONAMA (National Environmental Council) Law No. 6,938 of August 31, 1981 and regulated by Decree No. 99,274 of July 6, 1990, providing for the creation of a regulated network of private initiative aimed at re-refining this waste. Initiatives such as those in the city of San Francisco (USA), specifically focused on frying oils and fats, could be easily adopted in the city of São Paulo, would only require a joint effort between departments and the adoption of a geographic information system (GIS), in which the necessary bases would be loaded to determine the residual oil producing points and the disposal volume of each establishment. With the crossing of this information it would be possible to determine the most critical points in the municipality, through which the collection work should be initiated, beginning to serve the entire territory throughout the implementation of the project. The adoption of policies like these benefits all residents, besides improving the environmental quality of urban areas, thus avoiding excessive expenses with the maintenance of the pipes, inconvenience for citizens, aggravation of public health problems, such as urban plagues, and creating necessary mechanisms for a sustainable city.

**KEYWORDS:** Waste oils and fats, sewage, land use, sustainability.

## INTRODUÇÃO

O repensar e modificar a relação da civilização moderna com os resíduos é fundamental nos esforços da busca da sustentabilidade urbana e planetária. Quando os resíduos sólidos são dispostos inadequadamente, sem o devido tratamento, pode acarretar em sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, tais como a contaminação de mananciais e a disseminação de doenças por meio de vetores, pela criação de um ambiente propício para a sua proliferação.

Quando os resíduos sólidos são dispostos inadequadamente, sem o devido tratamento, pode acarretar em sérios danos ao meio ambiente e à saúde humana, tais como a contaminação de mananciais e a disseminação de doenças por meio de vetores, pela criação de um ambiente propício para a sua proliferação.

Dentre os resíduos gerados que representam riscos de poluição ambiental considerável estão os óleos e gorduras residuais (OGR) usados em processos de fritura. Esses são largamente consumidos para a preparação de alimentos tanto nas residências quanto nos estabelecimentos industriais e comerciais de produção de alimentos. Devido à falta de informação da população e dos empresários, o resíduo do óleo de cozinha gerado acaba sendo despejado em corpos de água, causando a sua contaminação, ou nas pias e vasos sanitários, indo parar nos sistemas de esgoto e causando entupimentos nos canos e encarecendo os processos das ETES (Estações de Tratamento de Efluentes).

O município de São Paulo detém uma grande quantidade de fontes produtoras de óleos e gorduras residuais, que são aproximadamente 13.000 estabelecimentos. O potencial poluidor desses resíduos é imenso, faz-se necessário um programa

funcional, sustentável e integrado de coleta e destinação correta para o óleo e a gordura descartados.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar como ocorre o descarte de óleo residual de fritura no município de São Paulo/SP e contribuir para a implementação do programa municipal de coleta e destinação adequada de resíduos.

O aumento do número de estabelecimentos geradores de óleo residual de fritura no município de São Paulo/SP gera também uma maior pressão sobre os sistemas de coleta de esgoto, pois a prática do descarte incorreto desses resíduos é muito comum e causa sérios problemas de entupimento e mau cheiro.

## **OS REFLEXOS DO DESPEJO DOS ÓLEOS E GORDURAS RESIDUAIS NA REDE DE ESGOTO**

Os óleos residuais atingem os esgotos sendo descartados nas pias, vasos sanitários e bocas de lobo. São provenientes de óleos, manteigas, margarinas, carnes e gorduras usados na culinária doméstica e industrial e constituem de 8 a 12% da matéria orgânica presente nos esgotos (SPERLING, 2005<sup>1</sup> *apud* NOGUEIRA e BEBER, 2009).

As principais fontes de descarte de óleos e gorduras residuais no esgoto são os estabelecimentos que se dedicam em preparar ou servir alimentos ao público, como restaurantes, hotéis, cozinhas comerciais, padarias, escolas, presídios e hospitais. Os óleos e gorduras são lançados no esgoto durante a limpeza e preparação dos alimentos, na lavagem da cozinha, na limpeza das louças e equipamentos. O esgoto flui da rede interna do estabelecimento para o sistema da cidade criando depósitos de gordura, acumulando-se nas tubulações e estações de bombeamento (ORANGE COUNTY, 2003).

Os depósitos de gordura e materiais sólidos vão se formando e aumentando com o passar do tempo, diminuindo assim a capacidade de fluxo do tubo e, por conseguinte, requerendo que os sistemas de tubulação sejam limpos com mais frequência ou que alguma tubulação precise ser substituída mais cedo do que o planejado, para evitar estouros na rede (OREGON ASSOCIATION OF CLEAN WATER AGENCIES, 2010).

Quando tais resíduos causam entupimentos nas tubulações públicas e privadas se torna necessário o emprego de produtos químicos para resolver o problema. Normalmente é usado hidróxido de sódio para solucionar tais casos, saponificando o óleo dentro da tubulação (NOGUEIRA e BEBER, 2009).

Segundo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

---

1. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 456 p. 2005.

(SABESP, 2010) os objetos lançados indevidamente na rede de esgoto são inúmeros, como pontas de cigarro, absorventes, cotonetes, preservativos, fibras (cabelo, tecidos, fio dental, etc), unhas e outros. Tais resíduos se aglutinam com o óleo residual formando um bloco rígido, o que torna difícil a desobstrução. Além da necessidade de equipamentos especiais e do custo da operação, o mau cheiro é muito forte e a interrupção da passagem de esgoto pode provocar refluxo para o interior dos imóveis.

Conforme já dito os óleos são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), pois são formados predominantemente por ésteres de triacilgliceróis (produtos resultantes da esterificação entre o glicerol e ácidos graxos). Em função desta imiscibilidade e por possuir densidade menor que a água, quando lançados em corpos d'água (rios, lagos, mares), emerge para a superfície, formando um filme sobrenadante que impermeabiliza a massa líquida, impedindo a entrada de luz solar e oxigênio na água, comprometendo a sobrevivência de organismos aeróbios e fotossintetizantes (NOGUEIRA e BEBER, 2009).

A matéria orgânica residual pode dissolver-se na água ou ser mais densa e atingir o fundo dos rios e lagos, sendo degradado pelos microorganismos presentes, em especial as bactérias, que neste processo consomem o oxigênio dissolvido presente, aumentando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), diminuindo as concentrações de oxigênio dissolvido na água. A escassez do oxigênio provoca a morte da fauna aquática como peixes, crustáceos e moluscos que dependem de oxigênio (SABESP, 2010).

O tempo para sua biodegradação depende das condições do ambiente, envolvendo a concentração de bactérias e outros microorganismos, temperatura, oxigênio dissolvido etc. A insolubilidade do óleo em água, no entanto, reduz o contato do óleo com os microorganismos capazes de digerir e degradar as gotas de óleo em emulsão (SABESP, 2010).

Outro problema é que, sendo sua solubilidade e biodegradabilidade baixas e sua taxa de dispersão em meio aquoso alta, o óleo consegue atingir grandes distâncias se despejado em rios, podendo impactar localidades muito afastadas do ponto de emissão. Isso dificulta muito o rastreamento da fonte e aumenta ainda mais o potencial poluidor do óleo residual.

Um dos impactos mais perceptíveis do derramamento de óleo comestível direto no solo é a impermeabilização deste, o que impede a penetração da água.

Segundo Silva *et al.* (2005) o escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície terrestre, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas. Portanto, a condição de escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração, quando

se transforma um solo, outrora permeável numa superfície impermeabilizada.

Além disso, quando descartado diretamente no solo o óleo residual ocupa o espaço da água e do ar, impedindo a absorção de nutrientes, água e oxigênio pela fauna e flora (micro e macro), que acabam morrendo. Solos impermeabilizados são também inviáveis para o cultivo, por não favorecerem a germinação de sementes (NOGUEIRA e BEBER, 2009). Ainda a presença de óleo residual no solo causa proliferação indesejável de microorganismos e fermentação além de, em grande quantidade, causar danos ao sistema radicular das plantas (SABESP, 2010).

## O USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A ELABORAÇÃO DOS MAPAS

Dentre as várias técnicas que compõem as geotecnologias, neste trabalho utilizou-se o sensoriamento remoto que subsidiou a geração dos dados, permitindo que esses fossem processados em um ambiente de SIG.

Para estudos de áreas menores e mais complexas, como para estudos do espaço intraurbano, notadamente as transformações do uso do solo urbano, como é o caso deste trabalho, é necessário o uso de sensores de satélites com alta resolução espacial, os sensores de satélites que se destacam nessa finalidade são os do —Ikonos II4II, do —Quick BirdII, do —Orbview 3II e do —GeoEye1II.

Sensoriamento Remoto representa uma fonte rica de informação atualizada para um sistema de informação geográfica e a cartografia digital.

Para Maguire (1991), a possibilidade de integração de dados de outras tecnologias no ambiente do SIG é responsável pelo sucesso desse sistema de análise espacial. E a união da tecnologia, dos conceitos e teorias desses sistemas possibilita a criação de sistemas de informação mais ricos e sofisticados.

Com a finalidade de determinar os hábitos de descarte dos resíduos, foram realizadas entrevistas com os estabelecimentos produtores de óleos e gorduras residuais de frituras. O conjunto de dados destas entrevistas possibilitou uma visão da quantidade e localização dos produtores de óleo residual de fritura, dos hábitos de descarte deste resíduo e dos problemas resultantes do descarte incorreto do mesmo. Foram selecionadas quatro subprefeituras para uma avaliação e análise e mapeamento: Sé, Mooca, Pinheiros e Vila Mariana.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de São Paulo localiza-se na região sudeste do Brasil, no Estado de São Paulo; possui 1.528,49 Km<sup>2</sup> de área e tem uma população de 11.316.149 habitantes de acordo com estimativas do IBGE (2011). É a cidade mais populosa: do País, da América Latina e do Hemisfério Sul inteiro, o que a classifica como a sexta mais populosa do mundo e a terceira maior aglomeração urbana, ficando atrás

apenas de Tóquio no Japão e Nova Delhi na Índia (IBGE, 2010).

Administrativamente o município se divide em trinta e uma subprefeituras, cada uma delas, por sua vez, divididas em distritos, sendo estes, eventualmente, divididos em subdistritos (a designação –bairroll não existe oficialmente, embora seja usualmente aplicada pela população) (Figura 01).

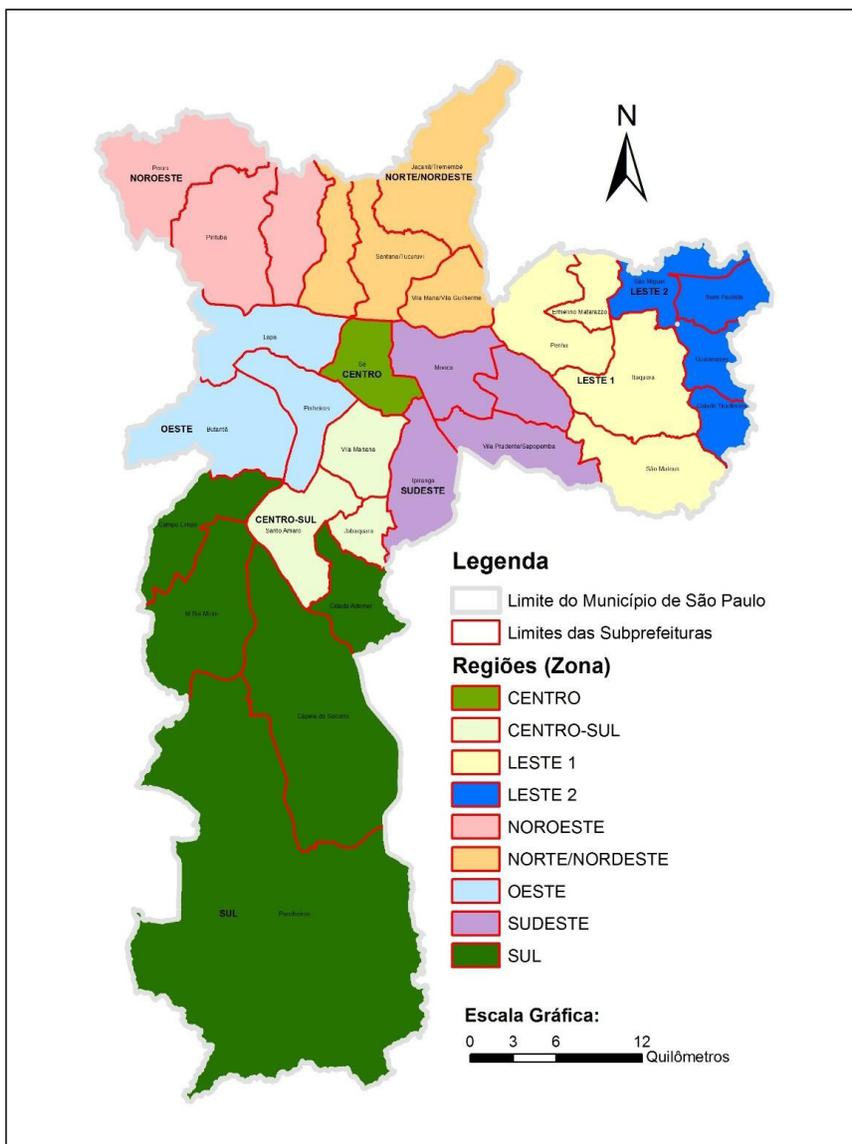


Figura 01 - Divisão Geográfica de São Paulo

Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento (SEMPPLA)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Regionalização dos produtores de óleos e gorduras residuais (OGR)

Segundo a Relação Anual de Informações Sociais – RAIS 2004 existem 13.094 estabelecimentos de alojamento e alimentação no município de São Paulo, possíveis produtores de OGR, distribuídos conforme a figura 02.

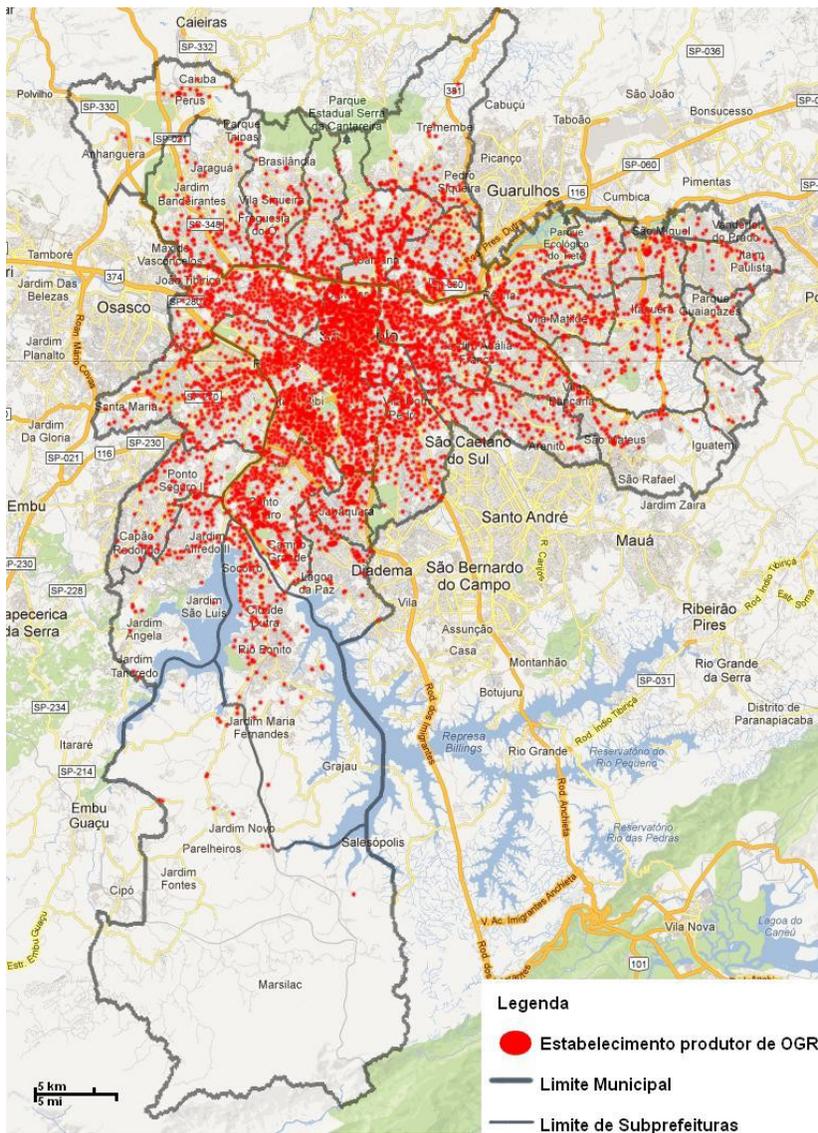


Figura 02 - Distribuição dos produtores de OGR

Fonte: RAIS, 2004

## Quanto ao resultado das entrevistas

Constatou-se que, tanto estabelecimentos pequenos como nos grandes, adotam os mesmos procedimentos como mostram os dados das tabelas relacionadas ao questionário.

Uma informação levantada pelas entrevistas foi a dos tipos de óleo utilizados em cada estabelecimento, mas somente a título de informação, uma vêz que isto não interfere no processo de reciclagem ou na questão do entupimento das redes de água e esgoto causados pelo descarte ilegal dos resíduos.

Outra questão abordada nas entrevistas foi a forma de acondicionamento final do óleo residual de fritura. Constatou-se que os reservatórios são escolhidos ao acaso, e normalmente são baldes, galões ou garrafas pet oriundas do próprio estabelecimento. Alguns comerciantes possuem uma maior preocupação com o descarte adequado dos resíduos e contratam empresas particulares que coletam o produto. As empresas coletoras fornecem ao estabelecimento bombonas, que são recolhidas depois de cheias.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das entrevistas realizadas em diversos estabelecimentos do município de São Paulo/SP, foi possível perceber que em geral os proprietários buscam formas adequadas de descarte dos resíduos de óleo e gordura utilizados nas frituras, mas a falta de uma política municipal integrada faz com que muitos deles tenham que contratar empresas privadas ou até mesmo lançar o óleo exaurido nas redes de esgoto.

A maioria dos proprietários dos estabelecimentos afirmou que utilizam recipientes reaproveitados para o descarte dos resíduos de óleo, como garrafas PET ou galões encontrados no próprio local. Existem no município algumas cooperativas que recolhem esse produto para fabricação de sabão, e muitas vezes o acordo com os comerciantes é verbal e se baseia na troca do óleo residual por sabão.

A iniciativa dessas cooperativas mostra um comprometimento com o meio ambiente e com a qualidade de vida dos cidadãos, no entanto, o trabalho realizado por elas é informal, não seguindo, muitas vezes, normas de segurança e higiene.

Seria necessária a formalização desse trabalho, incluindo o treinamento voltado para segurança e para o uso de equipamentos e produtos adequados para fabricação do sabão.

O município de São Paulo detém uma grande quantidade de fontes produtoras de óleos e gorduras residuais, com aproximadamente 13.000 estabelecimentos. O potencial poluidor de tais resíduos é imenso, e exige a criação de um programa

funcional e sustentável para sua coleta e correta destinação.

Após um levantamento das políticas vigentes no município de São Paulo, relacionadas com os óleos residuais, verificou-se que existem apenas uma norma que regulamenta a coleta e o rerrefino de lubrificantes<sup>2</sup> para máquinas em geral. A lei foi estabelecida pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Lei nº 6.938 de 31 de Agosto de 1981 e regulamentada pelo Decreto nº 99.274 de 06 de Julho de 1990, propiciando a criação de uma rede regulamentada de iniciativa particular visando o rerrefino desses resíduos.

O descarte incorreto de óleos e gorduras residuais causam inúmeros impactos ao meio ambiente, como poluição do solo e águas, obstrução das redes coletoras de esgotos e, até mesmo, aumento de pragas urbanas.

Com base no mapeamento de uso da terra, pode-se identificar o processo de ocupação urbana ao longo dos anos associado a ocorrência de um maior crescimento no número de estabelecimentos geradores de gordura residual.

A contribuição do sensoriamento remoto e do SIG foi fundamental fornecendo resultados que contribuíram para subsidiar o ordenamento do território. O mapa revelou as contradições do espaço e deste modo pôde contribuir para definir planos e ações que visam melhorar a qualidade de vida dos habitantes.

O uso de geotecnologias fornece informações precisas sobre espaço e contribui como instrumento de auxílio ao planejamento e gestão urbana. Propõe-se também como projeto de lei a exigência da colocação de caixas de inspeção de gordura em todas as novas edificações. Aliado a esta proposta é necessário também a implementação de um programa municipal de coleta de resíduos.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 275**, de 25 de abril de 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 001**, de 23 de janeiro de 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO 2010 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO 2011

---

2. Os **lubrificantes** são substâncias que, colocadas entre duas superfícies móveis ou uma fixa e outra móvel, formam uma película protetora que tem por função principal reduzir o atrito, o desgaste, bem como auxiliar no controle da temperatura e na vedação dos componentes de máquinas e motores, proporcionando a limpeza das peças, protegendo contra a corrosão decorrente dos processos de oxidação, evitando a entrada de impurezas, podendo também ser agente de transmissão de força e movimento

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D. J. GOODCHILD, M.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems: Principles and applications**. Harlow: Longman, 1991. Volume 1. 647p. p. 09-20.

NOGUEIRA, G. R.; BEBER, J. **Proposta de metodologia para o gerenciamento de óleo vegetal oriundo de frituras**. Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Irati, 2009.

ORANGE COUNTY. **Fats, Oils, and Grease (FOG) Control Study**. 2003.

OREGON ASSOCIATION OF CLEAN WATER AGENCIES. **Fats, Oil, and Grease Best Management Practices Manual**. [2010].

RAIS, Relação Anual de Informações Sociais. Ministério do Trabalho e Emprego, 2004.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Programa de Reciclagem de Óleo de Fritura da Sabesp**. São Paulo, [2010].

SILVA, B. C. *et al.* **Simulação da bacia do Rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB – IPH**. São Luis. **ABRH**, v.1, p. 1 – 22, 2005.

# CAPÍTULO 10

## RECICLAGEM DE ÓLEOS COMESTÍVEIS: CENÁRIOS SUSTENTÁVEIS DE UM LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO DE GASTRONOMIA

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 01/09/2020

### **Gerson Breno Constantino de Sousa**

Universidade Norte do Paraná  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/9015997213984201>

### **Carlos de Araújo de Farrapeira Neto**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/4238415411945496>

### **Iury de Melo Venancio**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/1660064089178312>

### **Camila Santiago Martins Bernardini**

Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/5929624959345190>

### **Leonardo Schramm Feitosa**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/5662881522604520>

### **Ana Vitória Gadelha Freitas**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/4160592772326222>

### **Ingrid Katelyn Costa Barroso**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/5159394038850233>

### **Rui Pedro Cordeiro Abreu de Oliveira**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/0225753759182219>

### **André Luís Oliveira Cavaleiro de Macedo**

Centro Universitário Pitágoras  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/2308877938625178>

### **Danielle Sousa Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Ceará  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/3295685467900239>

### **Raquel Jucá de Moraes Sales**

Universidade de Fortaleza  
Fortaleza - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/8238891653871201>

**RESUMO:** Historicamente, a gestão de resíduos tem se apresentado como uma problemática social e se agrava devido ao crescimento populacional. Um dos resíduos gerados residencialmente e que é descartado incorretamente por grande parte dos indivíduos é o óleo de cozinha, que pode ocasionar o entupimento de tubulações e o transbordo de esgoto. Ainda, suas substâncias insolúveis em água trazem um grande risco em caso de contaminação de rios, situação presente em locais onde não há tratamento de esgoto. Visando modificar essa perspectiva, objetiva-se usar instrumentos de reciclagem, através da fabricação de sabão caseiro com óleos de cozinha, para mensurar e projetar benefícios

financeiros e ambientais mediante cenários em um laboratório de gastronomia. Para tal, utilizou-se o método quali-quantitativo, o qual contou com levantamento de referencial literário, verificação de custos, coleta e quantificação de óleos provenientes de preparos culinários do laboratório de gastronomia de uma IES (Instituição de Ensino Superior) para a produção de sabão. Com isso, houve a compilação de dados para a geração dos resultados. O estudo apresentou o aproveitamento de custos de 23%, ou seja, R\$ 477,66. A partir dessa noção, a criação dos cenários deu-se por meio da consideração de todas as disciplinas, da possibilidade de variação das matérias cursadas e da provável redução do descarte de óleo nos 3 (três) períodos restantes. Com isso, projeta-se uma circunstância negativa de compras de R\$6.205,50 e o aproveitamento de R\$ 1.111,36; uma situação mediana com R\$ 4.964,40 e R\$ 777,91; e positivamente, por fim, R\$ 4.033,58 e R\$ 361,16. Portanto, conclui-se que o valor financeiro agregado à prática, apesar de variável, proporciona otimização de custos e insumos, promove a responsabilidade social e ambiental e conscientiza o corpo discente e docente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão ambiental; Resíduos orgânicos; Tecnologia de alimentos.

### RECYCLING OF EDIBLE OILS: SUSTAINABLE SCENARIOS OF A UNIVERSITY GASTRONOMY LABORATORY

**ABSTRACT:** Historically, waste management has been a social issue and is getting worse due to population growth. One of the residues generated at home and which is incorrectly disposed-off by most people is the cooking oil, which can cause clogging of pipes and overflow of sewage. Furthermore, its water-insoluble substances pose a great risk in case of contamination of rivers, a situation presented in places where there is no sewage treatment. In order to modify this perspective, the aim of this project is to use recycling instruments, through the manufacture of homemade soap using cooking oils, to measure and project the financial and environmental benefits through scenarios in a gastronomy laboratory. To this end, the quali-quantitative method was used, which included a survey of literary references, cost verification, collection and quantification of oils from culinary preparations in the gastronomy laboratory of a HEI (Higher Education Institution) for the production of soap. Data was compiled to generate results. The study showed that 23% of costs were improved, which means R\$ 477,66. Based on this notion, the creation of scenarios took place through the consideration of all disciplines, the possibility of varying the subjects taken and the probable reduction of oil disposal in the remaining 3 (three) periods. With that, it is projected a negative circumstance of purchases of R\$ 6.205,50 and the use of R\$ 1.111,36; the median situation with R\$ 4.964,40 and R\$ 777,91; and a positive, at last, R\$ 4.033,58 and R\$ 361,16. Therefore, it is concluded that the financial value added to the practice, although variable, promotes optimization of costs and resources, provides social and environmental responsibility and raises the awareness of students and professors.

**KEYWORDS:** Environmental management; Organic waste; Food technology.

## 1 | INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial, no final do século XVIII, a situação ambiental no planeta vem sendo cada vez mais agravada. O crescimento populacional gerou a necessidade de investimento em novas técnicas de produção, voltadas ao atendimento da demanda cada vez maior por bens e serviços. Tal fato resultou na intensificação da exploração dos recursos naturais e, conseqüentemente, no aumento da produção de resíduos poluentes (BORTOLUZZI, 2011).

Seguindo o contexto histórico, ELY (1990, p.5) já destacava a ação poluidora do homem, apontada como um suicídio, pois este destrói e degrada o próprio meio onde encontra as condições para desenvolver seus aspectos biológicos e sociais. A intensa ação antrópica contra o meio ambiente cria problemas e desafios ambientais que impõem ao próprio homem a busca por soluções.

Na busca por saídas, a reciclagem é uma ferramenta atrativa de gerenciamento de resíduos, pois além de transformar materiais em insumos, apresenta diversas vantagens ambientais, contribui com a economia dos recursos naturais e promove o bem estar da comunidade. Todavia, embora a tecnologia atual permita a reciclagem eficiente de diversos materiais amplamente consumidos, o descarte de óleo de cozinha ainda é uma problemática para a gestão ambiental (ALBERICI e PONTES, 2004).

Em razão das substâncias insolúveis em água (ex: lipídeos) presentes na composição do óleo de cozinha, quando descartados irregularmente, podem obstruir tubos e encanamentos, provocar o refluxo de esgoto, ou ainda poluir os corpos hídricos e afetar significativamente a vida aquática. Em consonância com o Instituto Akatu (2019),

[o] óleo que chega intacto aos rios e às represas da cidade fica na superfície da água e pode impedir a entrada da luz que alimentaria os fitoplânctons, organismos essenciais para a cadeia alimentar aquática. Além disso, quando atinge o solo, o óleo tem a capacidade impermeabilizá-lo, dificultando o escoamento de água das chuvas, por exemplo. Tal quadro é propício para as enchentes.

Objetivando modificar este cenário, a Organização das Nações Unidas - ONU apresenta instrumentos, tais como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS intentando a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável. O ODS 14 apresenta como meta até 2025 prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes.

No âmbito brasileiro, muitas instalações comerciais (bares, lanchonetes, restaurantes, hotéis) fazem o descarte incorreto do óleo de cozinha. Situação similar

ocorre em muitas instituições de ensino (escolas, faculdades e universidades). Por isso, conforme Cavalcante (2002), diferentes técnicas pedagógicas de educação ambiental podem ser utilizadas em sala de aula, cujo ensino e aprendizagem dão condições para que os alunos compreendam a realidade a sua volta e as necessidades ambientais atreladas às atitudes da sociedade como um todo.

Não obstante, Chesini (2018) afirma que, no campo educacional, o desafio reside numa mudança de paradigma. A sociedade precisa compreender as diferenças entre resíduos e rejeitos e alterar sua percepção sobre tudo aquilo que gera em suas atividades. Por isso, tornam-se necessárias práticas de educação ambiental que explicitem e incentivem o acondicionamento correto dos resíduos em todos os setores (residencial, comercial, industrial, público).

Dito isso, justifica-se a importância deste trabalho, pois a produção de sabão caseiro em um laboratório de gastronomia é um dos percursos para o reaproveitamento do óleo de cozinha num contexto acadêmico, o fornecimento de um material essencial a higiene e limpeza e economia financeira para a Instituição de Ensino Superior - IES. Ademais, contribui com os ODS's 6, 12 e 14, estabelecidos pela ONU e fomenta a sensibilização ambiental de alunos, funcionários e corpo docente.

Objetiva-se mensurar e projetar benefícios sustentáveis da reciclagem e precificação de insumos para fabricação de sabão caseiro, através de óleos de cozinha oriundos de um laboratório de gastronomia de uma IES.

## 2 I PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Utilizou-se os métodos qualitativo e quantitativos de análise, os quais contaram com levantamento de referencial literário, verificação de custos, coleta e quantificação de óleos provenientes de preparos culinários. Com isso, houve a compilação de dados para a geração de resultados.

O local para realização do estudo foi um laboratório de gastronomia de uma Instituição de Ensino Superior de Fortaleza/CE e os resíduos provenientes de suas inerentes atividades.

Como etapa inicial, foram realizados levantamentos bibliográficos pertinentes. Buscou-se por palavras-chave indexadas, como: economia ambiental, sabão caseiro, resíduos orgânicos, dentre outros. Além da observância aos objetivos dos ODS da Organização das Nações Unidas - ONU em plataformas digitais específicas.

Para a verificação de custos, foram realizadas 03 visitas a supermercados de diferentes redes, para consultar preços de óleos e azeites utilizados nas receitas do laboratório, assim como dos ingredientes para a produção do sabão caseiro, como: óleo de cozinha e soda cáustica. Sucessivamente, os dados foram reunidos para a

elaboração da média aritmética simples dos valores.

Para a confecção de sabão do tipo neutro para uso interno, primeiramente, foram coletados cerca de 60 kg de óleos gerados por preparações gastronômicas de duas disciplinas - Cozinha Nutricional e Cozinha Internacional. Estas foram selecionadas por apresentarem maiores atividades com frituras, entre os meses de março a junho de 2019. Vale ressaltar que, devido à grande quantidade de óleos e a falta de equipamentos de mensuração líquida no local, foi adotada a pesagem destes.

Durante o período experimental, foi observada a geração de cerca de 3,6 kg de óleos de cozinha usado/semana. Logo, a receita adotada foi desenvolvida semanalmente, tendo por base a quantidade de óleo usado coletado em uma semana.

Portanto, a receita adotada utilizou: 3,6 kg de óleos de cozinha usado, 540 ml de água e 636 g de soda cáustica em escamas (em concentração superior a 95%).

Por fim, para a criação dos cenários, levou-se em consideração os semestres letivos subsequentes ao semestre de coleta. Desta forma, inclui-se aqui o período de pandemia vivida no ano de 2020, o qual paralisou temporariamente as atividades laboratoriais e, conseqüentemente, diminuiu a geração de resíduos e custos no laboratório.

Desse modo, foram criados 4 (quatro) cenários, tendo como base os semestres 2019.1 e 2020.1, como é demonstrado no quadro 01. Entretanto, o cenário super otimista não será utilizado em projeções consequentes devido ao não impacto nos dados.

Período	Cenários	Planejamento
2020.1	Super otimista	Ausência de atividades presenciais e óleos
2019.1	Otimista	Poucas atividades laboratoriais e poucos óleos
2019.1	Esperado	Atividades e demanda com óleos habituais
2019.1	Pessimista	Alta demanda de atividades e alta produção de óleos

Quadro 01: Planejamento de cenários em relação às atividades práticas laboratoriais.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020

### 3 I RESULTADOS

De acordo com Machado & Cirino (2014) *apud* Oliveira e Robaina (2011), o óleo de cozinha é um dos resíduos que são gerados com maior frequência e que não possui alternativa eficiente e amplamente difundida de descarte. Uma pesquisa realizada em 2010 demonstra que o Brasil produz cerca de quatro bilhões

de litros de óleo de fritura ao ano, sendo que a metade é descartado e o restante consumido em frituras, produtos industrializados ou mesmo aderidos aos ambientes de preparo, estimando-se que apenas 5% sejam reciclados, (BIOSFERA, 2010 *apud* SEGUNDO; BIZERRA, 2013).

Em um contexto de microescala, o estudo baseado nas duas disciplinas do curso superior em Gastronomia em análise mostrou um volume de aquisição de cerca 99 L de ingredientes para fritura no semestre 2019.1, sendo: 45 L de azeite e 54 L de óleo. Para a fabricação do sabão, foram comprados cerca de 10,5 kg de soda cáustica. Com o levantamento do demonstrativo de compras, de acordo com a tabela 01, foi possível obter a conversão de unidades de medida e a média aritmética simples dos preços, tanto dos produtos comprados pelo laboratório, quanto dos preparos necessários para a receita de sabão caseiro.

PRODUTO	MÉD. DE PREÇO	COMPRA UNIT./ SEMESTRE	SUBTOTAL/SEMESTRE
AZEITE 500 ml	R\$ 17,37	90	R\$ 1.562,90
ÓLEO 900 ml	R\$ 5,42	60	R\$ 324,96
SODA CÁUSTICA 350g	R\$ 6,00	30	R\$ 180,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 2.067,86</b>

Tabela 01: Demonstrativo de compras de 2019.1.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Destarte, foram coletados em torno de 60 kg de resíduos provenientes de preparos gastronômicos. Com isso, é possível perceber que a IES utilizou 62% dos óleos comprados e que 38% destes foram descartados como ilustra a figura 01.

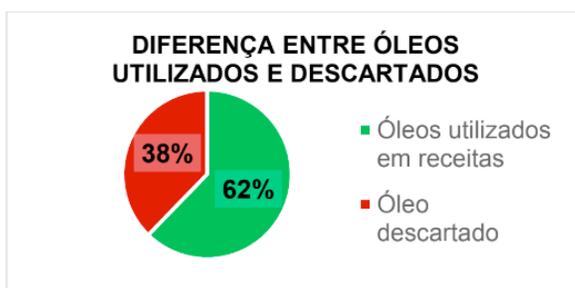


Figura 01: Resultado entre ingredientes utilizados e óleos descartados.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

O descarte desses resíduos era realizado através do armazenamento em garrafas plásticas para destinação futura. Entretanto, essa destinação não era frequente, então era ocupado espaço físico com sua estocagem. Ou seja, o acúmulo em um semestre com oferta de 5 (cinco) disciplinas em 4 meses de aula cada demandava amplo espaço disponível para essa armazenagem.

Ao desenvolver a receita de sabão caseiro semanalmente, durante todo o semestre de 2019.1, foram reciclados um total de 57,60 kg de óleos usados e foram utilizados 10,41 kg de soda cáustica. Levando em consideração a impossibilidade de identificar o azeite e o óleo coletado, foi adotada a média aritmética simples de preços entre os insumos para estabelecer um preço simbólico ao resíduo e foi possível observar uma economia financeira de R\$ 477,66, como ilustra a tabela 02.

INGREDIENTE	QTD/Kg	CUSTO
ÓLEOS	57,60	R\$ 656,22
SODA CÁUSTICA	10,41	(R\$ 178,56)
<b>RESULTADO</b>		<b>R\$ 477,66</b>

Tabela 02: Resultado da receita de sabão caseiro em um semestre.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Vale aqui destacar que 2,4 kg de resíduos não foram reciclados devido ao seu avançado estado de degradação. Para Reis et al (2007), o óleo utilizado repetidamente em frituras por imersão sofre degradação, acelerada pela alta temperatura do processo, tendo como resultado a modificação de suas características físicas e químicas. Portanto, o óleo que se torna escuro, viscoso, tem sua acidez aumentada, desenvolve odor desagradável, traz divergência de resultados ao sabão, além de adquirir características químicas comprovadamente nocivas à saúde.

Conforme figura 02, ao utilizar esse método de reaproveitamento do óleo de cozinha, se apresentou um retorno financeiro de 23% do total de R\$2.067,86 investidos pela IES em aquisição de ingredientes para fritura, que representa R\$477,66. Além disso, conta com a sustentabilidade de itens essenciais para a higiene do laboratório, tais como sabão em barra e detergente líquido.



Figura 02: Investimento em insumos e retorno financeiro proveniente da reciclagem.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Com base nestes resultados, projeta-se 3 (três) cenários de compras de ingredientes para fritura e para produção do sabão até a conclusão da turma vigente no Curso de Gastronomia, representados pela figura 03. Os cenários foram assim estabelecidos:

- Otimista: estima-se a redução de 35% nas compras com óleos em relação ao semestre 2019.1;
- Resultados esperados: apresenta a diminuição de 20% das compras, se comparado ao período de base;
- Pessimista: repetição de compras em todos os semestres

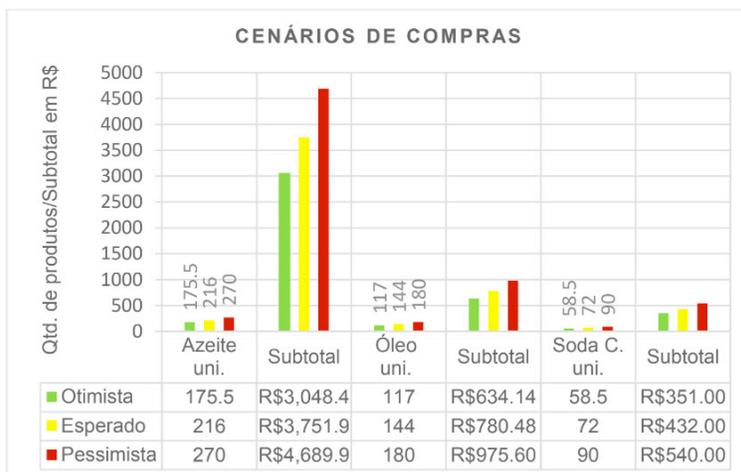


Figura 03: Cenários de compras de insumos para os semestres restantes.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020

Vale ressaltar que foi adotada uma média quantitativa de disciplinas práticas em laboratório durante um semestre, assumindo que esse quantitativo é variável a depender da grade curricular.

Para o cenário otimista, estima-se que as disciplinas utilizem 80% dos óleos em receitas; como resultado esperado é prevista a utilização de 65%; e por fim, no cenário pessimista, além de comprar a mesma quantidade de ingredientes do semestre 2019.1, irá usar apenas 60% dos óleos.

Portanto, os resultados apontam que a circunstância negativa tem compras de R\$6.205,50 e o aproveitamento de R\$1.111,36; a situação mediana R\$ 4.964,40 e R\$ 777,91; e positivamente, por fim, R\$ 4.033,58 e R\$ 361,16. Vale salientar que a interrupção de atividades devido à pandemia do Covid-19 não conferiu impactos nos cenários que seriam comumente previstos nos cenários propostos, uma vez que houve paralisação das atividades laboratoriais presenciais.

Desse modo, é demonstrada no quadro 02 a relação entre o descarte de óleos para aproveitamento, em consonância com os cenários apresentados anteriormente.

Cenários	Descarte de óleos em Kg	Subtotal	Soda C. em Kg	Subtotal	Total
Otimista	43,55	R\$ 496,15	7,87	(R\$ 134,99)	R\$ 361,16
Esperado	93,8	R\$ 1.068,64	16,95	(R\$ 290,73)	R\$ 777,91
Pessimista	134	R\$ 1.526,62	24,21	(R\$ 415,26)	R\$ 1.111,36

Quadro 02: Cenários para o descarte de óleo.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020

Em face do exposto, ao dar continuidade à prática de reciclagem, será possível atender aos ODS de número 6, 12 e 14, atingidos diretamente os objetivos 6.3, 6b, 12.2, 12.5, 12.6, e 14.1. Além disso, contemplará de forma indireta os objetivos propostos nos itens 6.4 e 14.3, conforme exposto no quadro 03.

ODS DIRETAMENTE ATINGIDAS		ODS INDIRETAMENTE ATINGIDAS	
6.3	Melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente	6.4	Aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.
6B	Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento		
12.2	Alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais	14.3	Minimizar e enfrentar os impactos da acidificação dos oceanos, inclusive por meio do reforço da cooperação científica em todos os níveis.
12.5	Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso		
12.6	Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações de sustentabilidade em seu ciclo de relatórios		
14.1	Prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todos os tipos, especialmente a advinda de atividades terrestres, incluindo detritos marinhos e a poluição por nutrientes		

Quadro 03: ODS's contempladas pelo processo de reciclagem dos óleos usados em sabão

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020

Portanto, é possível afirmar que, além de vantagens financeiras aos investidores educacionais, a prática regular da reciclagem proporciona aumento de mobilização socioambiental entre os envolvidos - corpos docente e discente, além de apoiar práticas sustentáveis já estabelecidas em nível mundial.

Ademais, a adoção da reciclagem contribui com as responsabilidades social e ambiental empresarial e coletiva da IES, inclusive abrindo precedentes para a atração de “consumidores verdes” - aqueles que optam por consumir de empresas que adotam soluções ecológicas em seus processos de produção, além da racionalização de recursos e a reciclagem (GUIMARÃES, 2020).

## 4 | CONCLUSÕES

Diante do exposto, o valor financeiro agregado à prática, apesar de variável,

proporciona a valorização da responsabilidade social e ambiental e conscientiza, sobretudo, o corpo discente.

Apesar da necessidade de investimento na compra de soda cáustica para o processo de reciclagem dos óleo em sabão, há compensação vantajosa em futuros gastos com extravasamento de esgoto devido ao entupimento da encanação pelo descarte incorreto dos óleos usados, afora os imensuráveis prejuízos ambientais pelo incremento destes nos corpos hídricos e no solo. Consequências estas que podem contribuir para a eutrofização de corpos d'água, comprometimento da biota aquática, complicações no tratamento de efluentes e contaminação do solo.

Como legado, observa-se que o processo de reciclagem de resíduos orgânicos é uma importante ferramenta de sensibilização e conscientização ambiental, demonstrando ser facilmente aplicável em âmbito acadêmico. A experiência absorvida pelos discentes pode inclusive ser expandida aos ambientes profissional e domiciliar, levando a uma melhor administração dos recursos financeiros, materiais e ambientais disponíveis e à multiplicação do saber ambiental.

Para melhor desenvolvimento da prática, cabe a outras instituições interessadas ofertar incentivos e investimentos à pesquisa e ao desenvolvimento de uma gestão de recursos mais otimizada, eficaz e sustentável para o redirecionamento dos seus resíduos.

Desta forma, buscar alternativas viáveis para seu aproveitamento e/ou garantir uma destinação correta aos resíduos é responsabilidade de todos e deve ser alvo constante, sendo as instituições de ensino superior um dos ambientes mais favoráveis para proporcionar debates e fomentar o pensamento crítico. Pesquisar meios viáveis e práticas legais para a resolução/atenuação do problema, ainda que em pequenas ações, são contribuintes para a mudança para uma realidade mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALBERICI, R. M.; PONTES, F.F.F. **Reciclagem de óleo comestível usado através da fabricação de sabão**. Engenharia ambiental 1.1 (2004): 73-76. Acesso em 24 de julho de 2019.

BORTOLUZZI, O. R. S. **A poluição dos solos e águas pelos resíduos de óleo de cozinha**. 2011. 36 f., il. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Consórcio Setentrional de Educação a Distância, Universidade de Brasília, Universidade Estadual de Goiás, Brasília, 2011. Acesso em 20 de julho de 2019.

CAVALCANTE, M. B. **Educação Ambiental: da escola a comunidade**. Iº Congresso Brasileiro de Extensão Universitária, João Pessoa/PB, em 2002. Acesso em 01 de junho de 2019.

CHESINI, G. **Gestão de resíduos sólidos**. 2018; Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina/PR. p. 52. Acesso em 20 de agosto de 2020.

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA. **Centro Científico Conhecer; Goiânia**, 2010; v.06, n.11, p. 14. Acesso em 01 de julho de 2019.

ELY, A. **Economia do meio ambiente: uma apreciação introdutória interdisciplinar da poluição, ecologia e qualidade ambiental**. 1990; 3.ed. rev. ampl. Porto Alegre/RS. Disponível em: <[https://biblioteca.isced.ac.mz/bitstream/123456789/1097/1/livro1\\_economia-meio-ambiente-.pdf](https://biblioteca.isced.ac.mz/bitstream/123456789/1097/1/livro1_economia-meio-ambiente-.pdf)>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

EQUIPE AKATU. **Não jogue óleo de cozinha na pia e evite a poluição de água suficiente para abastecer sua família por um ano**. 15 de março de 2019. Disponível em: <<https://www.akatu.org.br/dica/13/>>. Acesso em: 26 de julho de 2019.

GUIMARÃES, R. D. **O consumidor verde**. 18 de março de 2020. CESVALE, Teresina - PI. Disponível em: <<https://cesvale.edu.br/o-consumidor-verde/>>. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

MACHADO, L. C.; CIRINO, M. M. **Reciclagem de óleo de cozinha e fabricação de sabão caseiro**. Disponível em: < [http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uel\\_qui\\_artigo\\_luiz\\_carlos\\_machado.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uel_qui_artigo_luiz_carlos_machado.pdf) >. Acesso em: 26 de julho de 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **17 objetivos para mudar o mundo**. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/pos2015>>. Acesso em: 27 de julho de 2019.

OLIVEIRA, L. G de; ROBAINA, J. V. L. Óleo de Fritura: Alternativas de Reaproveitamento. 31º Encontro de Debates sobre o Ensino de Química. Rio Grande do Sul, 2011. Acesso em: 26 de julho de 2019.

REIS, M. F. P.; ELLWANGER, R. M.; FLECK, E. **Destinação de óleos de fritura**. 2007. Disponível em: [http://www6.ufrgs.br/sga/oleo\\_de\\_fritura.pdf](http://www6.ufrgs.br/sga/oleo_de_fritura.pdf). Acesso em 03 de setembro de 2019.

SEGUNDO, J. F. B.; BIZERRA, A. M. C. **Minimizando Impactos Ambientais: reaproveitamento de óleos e gorduras residuais transformando-os em fonte de limpeza**. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1360/240>>. Acesso em: 26 de julho de 2019.

# CAPÍTULO 11

## METAIS PESADOS, PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS EM UM TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 16/10/2020

### Carla Linardi Mendes de Souza

Universidade do Estado da Bahia  
Juazeiro, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/1811956105398588>

### Milena da Cruz Costa

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Cruz das Almas, Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/4603196569078013>

### Alexsandra Iarlen Cabral Cruz

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/6062138493454023>

### Juliana dos Santos Lima

Universidade Federal de Sergipe  
São Cristóvão/SE  
<http://lattes.cnpq.br/6552625162792305>

### Madson de Godoi Pereira

Universidade do Estado da Bahia  
Salvador-Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/2526885257147343>

**RESUMO:** Os rios são importantes para a sociedade devido ao fornecimento de água doce para as necessidades humanas. No entanto os problemas ambientais nos sistemas de água dos rios acentuaram-se nas últimas décadas devido principalmente ao crescimento populacional. O objetivo do trabalho foi abordar a importância de análises ambientais nos corpos d'água, a fim de

entender os principais tipos de contaminantes que revelam as reais condições desses ambientes. Este estudo bibliográfico é importante para alertar a necessidade do monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água do rio São Francisco, a fim de prevenir doenças transmitidas pela água, como também evitar contaminação por metais pesados que podem ser bioacumulados em plantas e animais aquáticos passando para seus consumidores na cadeia alimentar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rio São Francisco; Poluição Antrópica; Contaminação Hídrica.

### HEAVY METALS, PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS AND MICROBIOLOGICAL IN A SECTION OF THE SÃO FRANCISCO RIVER: A SYSTEMATIC REVIEW

**ABSTRACT:** Rivers are important to the society needed to supply fresh water for human needs. However, environmental problems in river water systems have increased in recent decades mainly due to population growth. The objective of the work was to address the importance of environmental analyzes in water bodies, an end of meaning the main types of contaminants that reveal these environments as real conditions. This bibliographic study is important to alert the need to monitor the physical-chemical and microbiological parameters of the water of the São Francisco River, in order to prevent water-borne diseases, as well as to prevent contamination by heavy metals that can be bioaccumulated in plants and aquatic animals passing on to their consumers in the food chain.

**KEYWORDS:** São Francisco River; Anthropic

## INTRODUÇÃO

Os rios são importantes para a sociedade porque fornecem água doce para a agricultura, necessidades humanas, indústria e transporte (SINGH et al., 2019). No entanto os problemas ambientais nos sistemas de água dos rios acentuaram-se nas últimas décadas devido ao crescimento populacional, da expansão industrial e das mudanças climáticas (ZHANG; LI; HUANG, 2020).

A poluição ambiental causada por águas residuais, industriais e agrícolas, bem como o escoamento das áreas urbanas, são consideradas as principais fontes de contaminação da água. Nesse sentido, podemos destacar a contaminação da água por metais pesados como uma das sérias ameaças à saúde da humanidade (SAHA; PAUL, 2018). Com isso, os metais pesados entram no ecossistema como contaminantes altamente estáveis e um tanto não degradáveis poluindo os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (MOKARRAM; SABER; SHEYKHI, 2020).

Por outro lado, os sedimentos compreendem uma classe de compartimentos aquáticos de extrema relevância ambiental, por permanecerem durante longos períodos de tempo em contato com a coluna de água e, portanto, funcionarem como imobilizadores ou fontes de diversas espécies químicas (SANTOLIN, 2015). Por muitas vezes, as quantificações de espécies químicas em amostras de sedimentos fluviais encerram uma utilidade ambiental bem maior do que na matriz aquosa, desde que esta última, em função de seu fluxo constante, reflita apenas uma situação momentânea.

Além disso, existem alguns microrganismos que podem ser encontrados nos rios, como o grupo de coliformes totais e termotolerantes. A sua presença pode comprometer a qualidade da água (VON SPERLING et al., 2003) e por esse motivo torna-se necessário o monitoramento das condições sanitárias dos ecossistemas aquáticos, por meio das análises físico-químicas e microbiológicas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo abordar a importância de análises ambientais nos corpos d'água, a fim de entender os principais tipos de contaminantes que revelam as reais condições desses ambientes.

## O RIO SÃO FRANCISCO

A Bacia do rio São Francisco nasce em São Roque de Minas-MG, lançando na sua foz, no Oceano Atlântico, entre Alagoas e Sergipe. Banha os estados brasileiros, Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, além do Distrito Federal (CODEVASF, 2019; CBHSF, 2020). A partir da importância desse

percurso realizado pelo mesmo, passou a ser denominado como rio da integração nacional.

A Bacia do rio São Francisco é dividida em 4 regiões fisiográficas, a partir da sua altitude que pode variar de 1.600m a 0m: o Alto (altitude 1.600 a 600m, com 235.635 Km<sup>2</sup>), Médio (altitude 1.400 a 500m, com 266.972 Km<sup>2</sup>), Submédio (altitude 800 a 200m, com 110.446 Km<sup>2</sup>) e Baixo São Francisco (altitude 480 a 0m, com 25.523 Km<sup>2</sup>) (IBGE, 2018).

Apesar de apresentar importância por causa da sua extensão e volume, pois se trata de um rio que cruza principalmente regiões semi-áridas, também é muito conceituado por sua participação social e econômica, ou seja, essencial para manutenção de todas as atividades agrícolas e industriais regionais, responsável pelo fornecimento de água para consumo humano, lazer, turismo, integração com outros estados principalmente com a comercialização, dentre outros. O plano decenal (2016-2025) elaborado pelo Comitê da Bacia hidrográfica do São Francisco - CBHSF com o acompanhamento da Agência Nacional das Águas – ANA, exibiu que mais de 70% da busca dos recursos hídricos na bacia do São Francisco se destinam à irrigação (CBHSF, 2020).

## A ÁGUA

A expansão da população demográfica aliada a industrialização, fizeram crescer a demanda por água (CHATANGA et al., 2019) uma vez que este recurso natural é essencial para a manutenção de todas as formas de vida no planeta Terra por isso o acesso a uma fonte segura e suficiente de água potável é requisito fundamental para a sobrevivência humana (ŞENER; ŞENER; VAROL, 2020).

As águas dos rios, principalmente aquelas associadas às áreas urbanas e industriais, são afetadas por diferentes atividades antropogênicas que podem levar ao comprometimento da qualidade da água, como exemplo, níveis crescentes de poluentes ou acidez (DEBÉN et al., 2017). Em muitas cidades brasileiras a qualidade da água está comprometida qualitativamente pela contaminação ocasionada, principalmente, pelas atividades econômicas (ŞENER; ŞENER; VAROL, 2020).

Nesse sentido, a qualidade da água é importante para o equilíbrio aquático e para o abastecimento da população que utiliza o corpo hídrico. Essa qualidade é analisada através de características microbiológicas, físicas e químicas como a temperatura da água, pH, turbidez, cor, condutividade, oxigênio dissolvido, além de positividade das bactérias que pertencem ao grupo de coliformes (CONCEIÇÃO et al., 2020).

## METAIS PESADOS

Os metais pesados são definidos como elementos metálicos que possuem uma densidade relativamente alta. As fontes de metais podem ser de fontes naturais ou de atividades antrópicas de origem industrial, agrícola e zootécnica (GORETTI et al., 2018). Entre as fontes naturais estão os processos erosivos, intemperismo de rochas e erupções vulcânicas, enquanto que as fontes antropogênicas são relacionadas às áreas urbanas, incluindo, mineração, moagem, queima de combustíveis fósseis e agroquímicos (KUMAR et al., 2019).

O grupo de metais pesados são conhecidos como poluentes de alto significado ecológico porque não são removidos da água por autopurificação. Eles podem se acumular em partículas suspensas ou sedimentos e podem ser liberados de volta aos sistemas aquáticos, entrar na cadeia alimentar e causar sérios problemas de saúde (ARADPOUR et al., 2020).

### Chumbo

O chumbo é um dos metais mais abundantes distribuídos no solo. Ele é encontrado de forma dispersa em formações rochosas e a sua presença no solo tem efeitos adversos na flora microbiana bem como no crescimento e metabolismo das plantas (KUSHWAHA et al., 2018). Entretanto a elevada exposição aos níveis de chumbo provoca riscos à saúde dos seres vivos. Em detrimento disso, o chumbo faz parte da lista de substâncias tóxicas e deletérias, sendo identificado como um dos dez produtos químicos de maior preocupação para a saúde pública (WHO, 2010).

Segundo Abokifa, Katz, Sela (2020), a principal fonte de contaminação por chumbo na água são as linhas de serviço de chumbo (LSLs), que são tubos de chumbo que conectam o encanamento doméstico às tubulações de água. Muitas residências usam linhas de serviço que são parcialmente feitas de chumbo, além dos outros componentes do encanamento que possuem esse elemento químico, incluindo torneiras de latão, solda com chumbo nas conexões de tubos e linhas de serviço galvanizadas que também podem liberar chumbo na água potável (RIBLET et al., 2019).

### Níquel

O níquel (Ni) é o 22º elemento mais abundante na crosta terrestre e a concentração natural aproximada desse metal no solo e nas águas superficiais, geralmente é inferior a 100 mg/kg e 0,005 mg/L, respectivamente (SHAHZAD et al., 2018). Devido à alta toxicidade do Ni, ele foi considerado pela Agência Internacional da Organização Mundial de Saúde para a pesquisa do câncer (IARC) como agente cancerígeno humano (Grupo 1), relacionados aos cânceres que causam câncer de pulmão (IARC, 2017; LI et al., 2020).

O níquel pode entrar no corpo por ingestão acidental de partículas e inalação de cinzas volantes ou pela ingestão de frutas e vegetais com quantidades elevadas de níquel adquirido de solos contaminados. Em relação à legislação para o níquel na água, há um limite máximo de resíduos (LMR) ( $20 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em águas minerais naturais (EFSA, 2015).

### Zinco

O Zn ocorre naturalmente no solo a partir de processos pedogenéticos da lixiviação das rochas-mãe assim como das atividades industriais como mineração, fundição, escoamento urbano e lodo de esgoto, além do uso persistente de fertilizantes com Zn (NOULAS; TZIOUVALEKAS; KARYOTIS, 2018). Uma parte do zinco presente no ambiente geralmente é absorvido pelas superfícies do solo e parcialmente lixiviado pelos corpos d'água. Esse elemento e seus sais causam toxicidade aguda e crônica à vida aquática. Níveis de Zn superiores a  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  no solo interferem na capacidade das plantas de absorver outros metais essenciais, como ferro e manganês, causando deficiência a esses organismos (TRIPATHI; CHOPPALA; SINGH, 2017).

### Cobre

O cobre (Cu) ocorre na natureza em sua forma metálica, em minérios e minerais e são utilizados em sistemas de encanamento doméstico, para fazer utensílios de cozinha, produção de fios elétricos, aplicações microeletrônicas, galvanoplastia, fotografia e como catalisador na indústria química (STERN et al., 2007).

Contudo, o Cu faz parte dos micronutrientes indispensáveis ao crescimento das plantas e aproximadamente, de 5 a  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  desse elemento nos tecidos das culturas são considerados necessários. No entanto, para o ser humano, tanto a deficiência quanto o excesso de Cu produzem efeitos adversos (BALLABIO et al., 2018).

### Cádmio

O cádmio (Cd) é um elemento raro, presente em  $0,15 \text{ mg/kg}$  na crosta da Terra e em  $1,1 \times 10^{-4} \text{ mg/L}$  no mar (ZHANG; REYNOLDS, 2019). O nível de Cd no solo e nas águas subterrâneas aumentou em decorrência do seu constante uso em produtos comerciais e atividades antropogênicas (KUBIER; WILKIN; PICHLER, 2019).

O Cd é um metal tóxico e móvel do ambiente, conhecido como agente cancerígeno, associado ao câncer de pulmão, mama e bexiga (KUBIER; WILKIN; PICHLER, 2019). A toxina desse elemento pode ser retida nos rins por 10 a 30 anos, ocasionando uma insuficiência renal e osteopenia. Pesquisas epidemiológicas também têm mostrado que a exposição a esse elemento pode causar danos, como

a diabetes mellitus gestacional (LU et al., 2019).

## **Manganês**

O manganês (Mn) é um metal cinza-avermelhado, classificado como o décimo segundo elemento mais abundante, presente em aproximadamente 0,095% na crosta terrestre. Segundo Clarke e Upson (2017), o Mn é um dos nove micronutrientes essenciais para o desenvolvimento de culturas e considerado um elemento essencial para a saúde do ser humano. A falta de Mn no organismo pode causar anormalidades esqueléticas, funções reprodutivas comprometidas e defeitos no metabolismo lipídico e carboidrato.

Contudo, o excesso de Mn pode causar toxicidade nos ecossistemas aquáticos e terrestres, gerando danos aos seres vivos. Em algas, esse elemento pode induzir a deficiência de ferro, além de gerar neurotoxicidade em platelmintos, toxicidade aguda e mortalidade embrionária em peixes e vários efeitos adversos em plantas terrestres, enquanto que nos seres humanos, o excesso desse metal pode ocasionar o manganismo com o desenvolvimento de distúrbios psiquiátricos e motores (PFALZER; BOWMAN, 2017; NECULITA; ROSA, 2019).

## **Ferro**

O ferro (Fe) é um metal que ocupa o 4º lugar entre os elementos mais abundantes da terra, sendo o 2º metal mais encontrado na crosta terrestre. O Fe é essencial para vários processos celulares, como respiração, biossíntese de clorofila e fotossíntese, e serve como cofator para enzimas envolvidas na transferência de elétrons ou oxigênio (KOBAYASHI; NOZOYE; NISHIZAWA, 2019).

A contaminação ambiental por ferro pode ocorrer por fontes geogênicas como à lixiviação de rochas e minerais contendo ferro, ou por ações antropogênicas, como o despejo de resíduos domésticos e efluentes industriais, poluição das indústrias siderúrgica, mineração e corrosão de metais. Esse elemento está presente nas águas superficiais e subterrâneas. A concentração de ferro nas águas superficiais e subterrâneas varia de 3 a 4 mg / L a 15 mg / L (KHATRI; TYAGI; RAWTANI, 2017). O elevado nível de ferro causa grave problemas de saúde em seres humanos, como câncer de fígado, diabetes, cirrose hepática, doenças cardíacas e infertilidade etc.

## **PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

### **Condutividade elétrica**

A condutividade elétrica (CE) é um dos parâmetros utilizados para verificar a qualidade da água, mede a facilidade com que a corrente elétrica passa através da água e estima a quantidade total de sais dissolvidos em um determinado volume (ABUZAID, 2018). Esse parâmetro é usado também para examinar o status de

poluição da água e seu valor depende da concentração de impurezas, mobilidade e temperatura da solução (SHRESTHA; BASNET, 2018).

A condutividade elétrica é utilizada para demonstrar a relação entre condições do solo, seca, precipitação e outras situações ambientais que afetam a produção de culturas. Portanto, qualquer alteração significativa nesse parâmetro a partir do limite desejado é uma indicação de possível contaminação (SHRESTHA; BASNET, 2018).

## Temperatura

A temperatura da água é um parâmetro de grande importância para a qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos (CAISSIE, 2006), uma vez que muitos processos físicos, químicos e biológicos nos rios dependem dessa propriedade física, como por exemplo, os processos ecológicos e biogeoquímicos, incluindo taxa de reação química, solubilidade de oxigênio, produção primária e habitat de peixes (TAO et al., 2020).

A temperatura da água também é um indicador de mudanças hidrológicas e variabilidade climática, uma vez que pode ser alterada significativamente sob perturbações antrópicas, como construção de barragens, além de desmatamentos e mudanças climáticas (SOTO, 2018).

## Potencial hidrogeniônico (PH)

O pH, é um termo usado para expressar a intensidade da condição ácida (H<sup>+</sup>) ou alcalina (OH<sup>-</sup>) de uma solução. Quando apresenta uma acidez elevada, pode ser um indicador de contaminação (VASCONCELOS; SOUZA, 2011). Os ecossistemas que apresentam valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone. Nesses ecossistemas, são encontradas altas concentrações de ácido sulfúrico, nítrico, oxálico, acético, além de ácido carbônico, formado, principalmente, pela atividade metabólica dos microrganismos aquáticos (VASCONCELOS; SOUZA, 2011).

## Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido (OD) é um elemento essencial em ambientes aquáticos, uma vez que as atividades metabólicas e a saúde ecológica do ecossistema são dependentes do OD em aspectos relacionados ao papel importante que desempenha (MADER et al., 2017).

Vale destacar que a presença de poluentes, principalmente de origem orgânica, provoca a diminuição da concentração de OD e, conseqüentemente, o desaparecimento dos organismos aquáticos aeróbios, por afetar a sustentabilidade do habitat, a fonte de alimento e a estruturação trófica (CUNHA; FERREIRA; LOPES, 2007). A matéria orgânica presente no esgoto ainda pode causar o aumento do número de microrganismos, o que implica no consumo excessivo do OD nos

processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica (CUNHA; FERREIRA, 2019).

## COLIFORMES

Os coliformes, bastonetes gram-negativos, pertencentes à família Enterobacteriaceae, são indicadores microbianos utilizados no estudo da qualidade sanitária da água. Propagam-se com facilidade e, por serem comuns em fezes humanas e de outros animais, de fácil identificação em laboratório e com fisiologia semelhante à de microrganismos patogênicos, é que se tornam importantes indicadores (NASCIMENTO; ARAÚJO, 2013).

O grupo coliforme é definido pelo Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water (APHA, 2005) como todas as bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, não esporuladas, que fermentam a lactose com formação de gás e temperatura de  $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  dentro de 24 à 48h, incluindo organismos que diferem nas características bioquímicas e sorológicas e no habitat (OSINSKA et al., 2017). O grupo de coliformes totais são capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície (surfactantes), com propriedades similares de inibição de crescimento, e que fermentam a lactose com produção de aldeído, ácido e gás a  $35/37^{\circ}\text{C}$  em 24-48 horas.

O grupo coliformes termotolerantes suportam uma temperatura superior a  $40^{\circ}\text{C}$ , convivem em perfeita simbiose com humanos, bois, gatos, porcos e outros animais de sangue quente. São excretados em grande quantidade nas fezes e normalmente não causam doenças (quando estão no trato digestivo), mas quando migram para outra região do corpo pode causar danos (MALAGI et al., 2019). *E. Coli* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes, cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, atualmente é o organismo mais estudado em todo o mundo, sendo a bactéria mais isolada em laboratórios clínicos de microbiologia (DANTAS et al., 2010).

## SEDIMENTOS

Os sedimentos são formados por partículas minerais e orgânicas de vários tamanhos que se encontram em contato com a porção inferior dos corpos d'água, ele é o compartimento de maior concentração de metais (MELO et al., 2012). Pompêo et al. (2013), diz que os sedimentos funcionam como compartimentos ativo, que não só acumula material oriundo da coluna d'água, mas também reprocessa esse material, podendo torná-lo novamente disponível em solução, reaproveitando-o.

Os sedimentos podem ser liberados por mudanças nas condições biológicas, físicas e químicas, como pH e potencial redox, ocasionando a contaminação da

água e a transferência e bioacumulação desses poluentes para a cadeia trófica (BASÍLIO, et al., 2005). Desta forma, dependendo de sua natureza e do ambiente em que se encontram, os sedimentos podem representar fonte ou sumidouro para os metais traços provenientes das águas. Eles transportam, para outros e novos locais, metais pesados que chegam até o corpo hídrico, a partir de produtos utilizados na agricultura como adubos e fertilizantes, na mineração, e advindos dos ecossistemas urbanos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizar este estudo bibliográfico é importante para alertar as autoridades de saúde pública sobre a necessidade do monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água do rio São Francisco, a fim de prevenir doenças de veiculação hídrica.

Quanto aos metais pesados, quando presentes em alta quantidade na água e no sedimento além de promover contaminação pelo consumo direto, podem também, ser bioacumulados em tecidos de plantas e animais aquáticos passando para seus consumidores.

## REFERÊNCIAS

ABOKIFA, A. A.; KATZ, L.; SELA, L. **Spatiotemporal trends of recovery from lead contamination in Flint, MI as revealed by crowdsourced water sampling**. Water Research, v. 171, p. 115442, 2020.

ABUZAID, A. **Evaluation of the spatial variability of the electrical conductivity of groundwater by geostatistical methods**. Journal of Al Azhar University-Gaza (Natural Sciences), 2018, v. 20, n. 2 p. 49-62, 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Baltimore: United Book Press, 2005.

ARADPOUR, S.; NOORI, R.; TANG, Q.; BHATTARAI, R.; HOOSHYARIPOR, F.; HOSEINZADEH, M.; HAGHIGHI, A. T.; KLÖVE, B. **Metal contamination assessment in water column and surface sediments of a warm monomictic man-made lake: sabalan dam reservoir, Iran**. Hydrology Research, p. 01-16, 2020.

BALLABIO, C.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; HUANG, J-H.; ORGIAZZI, A.; JONES, A.; FERNÁNDEZ-UGALDE, O.; BORRELLI, P.; MONTANARELLA, L.. **Copper distribution in European topsoils: an assessment based on lucas soil survey**. Science of The Total Environment, v. 636, p. 282-298, 2018.

BASÍLIO, M. S.; FRIESE, K.; LENA, J. C.; JÚNIOR, H. A. N.; PETER, H. M. R. **Adsorção de As, Cu, Pb e Cr na avaliação da capacidade de fixação de metais por resíduo de mineradoras de ferro**. Quím. Nova, v. 28, n.5, 2005.

CAISSIE, D. **The thermal regime of rivers: a review**. *Freshwater biology*, v. 51, n.8, pgs.1389-1406, 2006.

CHATANGA, P.; NTULI, V.; MUGOMERI, E.; KEKETSU, T.; CHIKOWORE, N. V. T. **Situational analysis of physico-chemical, biochemical and microbiological quality of water along Mohokare River, Lesotho**. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 45, n. 1, p. 45-51, 2019.

CLARKE, C.; UPSON, S. **A global portrait of the manganese industry—A socioeconomic perspective**. *Neurotoxicology*, v. 58, p. 173-179, 2017.

COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SÃO FRANCISCO. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acessado em 26/08/2020.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco>. Acessado em 26/08/2020.

CONCEIÇÃO, M. M. M.; SOUZA, R. R. N.; SILVA, A. C. D. S.; MACHADO, N. I. G.; CARNEIRO, C. C. A.; GUEDES, F. L.; SOUZA, G. B. **A lógica fuzzy no estudo da qualidade da água do rio Uraim Paragominas-PA**. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n. 6, p. 38575-38588, 2020.

CUNHA, C. D. L. D. N.; FERREIRA, A. P. **Análise crítica por comparação entre modelos de qualidade de água aplicados em rios poluídos: contribuições à saúde, água e saneamento**. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 3, p.473-480, 2019.

CUNHA, C.L.N.; FERREIRA, A.P.; LOPES, A. G. S. **Implicações do saneamento na saúde pública observadas na região da Leopoldina, Rio de Janeiro**. *Revista Baiana Saúde Pública*, v. 31, n. 2, p. 225-239, 2007.

DANTAS, A. K. D, SOUZA, C.; FERREIRA, M. S.; ANDRADE, M. A.; ANDRADE, D.; WATANABE, E.; **Qualidade microbiológica da água de bebedouros destinada ao consumo humano**. *Revista Biociências*, v.16, n.2, 2010. Disponível em [periodicos.unitau.br](http://periodicos.unitau.br). Acessado em 21 de agosto de 2020.

DEBÉN, S.; ABOAL, J.R.; CARBALLEIRA, A.; CESA, M.; FERNÁNDEZ, J. A. **Monitoring river water quality with transplanted bryophytes: a methodological review**. *Ecological Indicators*, v. 81, p. 461-470, 2017.

Directive 2000/60/EC. **Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água**. p. L327, 2000.

EFSA PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN (CONTAM). **Scientific advice on public health risks related to the presence of nickel in food and drinking water**. *EFSA Journal*, v. 13, n. 2, p. 4002, 2015.

GORETTI, E.; PALLOTTINI, M.; GOGA, B.t. C.; SELVAGGI, R.; PETROSELLI, C.; VERCILLO, F.; CAPPELLETTI, D. **Mustelids as bioindicators of the environmental contamination by heavy metals**. *Ecological Indicators*, v. 94, p. 320-327, 2018.

IARC. International Agency for Research on Cancer. **Níquel e compostos de níquel** Disponível em: <http://http://www.iarc.fr>. Acesso: 08.08.2020.

KHATRI, N.; TYAGI, S.; RAWTANI, D. **Recent strategies for the removal of iron from water: a review**. Journal of Water Process Engineering, v. 19, p. 291-304, 2017.

KOBAYASHI, T.; NOZOYE, T.; NISHIZAWA, N. K. **Iron transport and its regulation in plants**. Free Radical Biology and Medicine, v. 133, p. 11-20, 2019.

KUBIER, A.; WILKIN, R. T.; PICHLER, T. **Cadmium in soils and groundwater: a review**. Applied Geochemistry, v. 108, p. 104388, 2019.

KUMAR, S.; PRASAD, S.; YADAV, K. K.; SHRIVASTAVA, M.; GUPTA, N.; NAGAR, S.; BACH, Q.-V.; KAMYAB, H.; KHAN, S. A.; YADAV, S. **Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: role of sustainable remediation approaches - a review**. Environmental Research, v. 179, p. 108792, 2019.

KUSHWAHA, A.; HANS, N.; KUMAR, S.; RANI, R. **A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies**. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 147, p. 1035-1045, 2018.

LI, H-B.; WANG, J-Y.; CHEN, X-Q.; LI, Y-P.; FAN, J.; REN, J-H.; LUO, X-S; JUHASZ, A. L.; MA, L. Q. **Geogenic nickel exposure from food consumption and soil ingestion: a bioavailability based assessment**. Environmental Pollution, v. 265, p. 114873, 2020.

LU, Q.; XU, Z.; XU, X.; LIU, L.; LIANG, L.; CHEN, Z.; DONG, X.; LI, C.; WANG, Y.; QIU, G. **Cadmium contamination in a soil-rice system and the associated health risk: an addressing concern caused by barium mining**. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 183, p. 109590, 2019.

MADER, M.; SCHMIDT, C.; GELDERN, R.; BARTH, J. A. C. **Dissolved oxygen in water and its stable isotope effects: A review**. Chemical Geology, v. 473, p. 10 - 21, 2017.

MALAGI, I.; SAMPAIO, S. C.; PINTO, F. G. S; ROSA, D. M.; REIS, R. R. **Physicochemical quality of and *Escherichia coli* resistance profiles in urban surface waters**. Brazilian Journal of Biology, v. 80, n.3 São 2019.

MELO, V. F., ANDRADE, M.; BATISTA, A. H. FAVARETTO, N. **Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalúrgica de metais**. Química Nova, v. 35, n. 1, 2012.

MOKARRAM, M.; SABER, A.; SHEYKHI, V. **Effects of heavy metal contamination on river water quality due to release of industrial effluents**. Journal of Cleaner Production, v. 277, p. 1-13, 2020.

NASCIMENTO, V.F.S.; ARAÚJO, M.F.F. **Ocorrência de bactérias patogênicas oportunistas em um Reservatório do Semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil**. Revista de Ciências Ambientais, v. 7, n. 1, p. 91-104, 2013.

NECULITA, C. M.; ROSA, E. **A review of the implications and challenges of manganese removal from mine drainage**. Chemosphere, v. 214, p. 491-510, 2019.

NOULAS, C.; TZIOUVALEKAS, M.; KARYOTIS, T. **Zinc in soils, water and food crops.** Journal of Trace Elements In Medicine and Biology, v. 49, p. 252-260, 2018.

OSINSKA, A., KORZENIEWSKA, E., HARNISZ, M. and NIESTEPSKI, S. **The prevalence and characterization of antibiotic-resistant and virulent *Escherichia coli* strains in the municipal wastewater system and their environmental fate.** *The Science of the Total Environment*, v. 577, p. 367-375, 2017.

PFALZER, A. C.; BOWMAN, A. B. **Relationships Between Essential Manganese Biology and Manganese Toxicity in Neurological Disease.** Current Environmental Health Reports, v. 4, n. 2, p. 223-228, 2017.

POMPÊO, M. **Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil: há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial?.** *Geochimica Brasiliensis*, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013.

RIBLET, C.; DESHOMMES, E.; LAROCHE, L.; PRÉVOST, M. **True exposure to lead at the tap: insights from proportional sampling, regulated sampling and water use monitoring.** Water Research, v. 156, p. 327-336, 2019.

SAHA, P.; PAUL, B. **Assessment of heavy metal toxicity related with human health risk in the surface water of an industrialized area by a novel technique.** Human And Ecological Risk Assessment: An International Journal, v. 25, n. 4, p. 966-987, 2018.

SANTOLIN, C.V.A. **Quantificação e avaliação da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da Baía do Rio Doce – MG.** Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.

ŞENER, Ş.; ŞENER, E.; VAROL, S. **Hydro-chemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey).** *Environmental Pollution*, v. 266, p. 115214, 2020.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; REHMAN, A.; CHEEMA, S. A.; FAHAD, S.; REHMAN, S.; SHARMA, A. N. **Whether toxic or essential for plants and environment - A review.** *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 132, p. 641-651, 2018.

SHRESTHA, A. K.; BASNET, N. **The correlation and regression analysis of physicochemical parameters of river water for the evaluation of percentage contribution to electrical conductivity.** *Journal of Chemistry*, v. 2018, p. 1-9, 2018.

SINGH, K.R.; GOSWAMI, A.P.; KALAMDHAD, A.S.; KUMAR, B. **Avaliação da qualidade das águas superficiais dos rios Pagladia, Beki e Kolong (Assam, Índia) usando técnicas estatísticas multivariadas.** *International Journal of River Basin Management*, p.1-10, 2019.

SOTO, B. **Changes in water temperature in rivers induced by climate in the North of the Iberian Peninsula.** *Theoretical and Applied Climatology*, v.133, n.1, p. 101-112, 2018.

STERN, B. R.; SOLIOZ, M.; KREWSKI, D.; AGGETT, P.; AW, T-C.; BAKER, S.; CRUMP, K.; DOURSON, M.; HABER, L.; HERTZBERG, R. **Copper and Human Health: biochemistry, genetics, and strategies for modeling dose-response relationships.** *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, v. 10, n. 3, p. 157-222, 2007.

TAO, Y.; WANG, Y.; RHOADS, B., WANG, D., NI, L.; WU, J. **Quantify the impacts of the Three Gorges Reservoir on water temperature in the middle course of the Yangtze River.** Journal of Hydrology, v. 582, 124476, 2020.

TRIPATHI, N.; CHOPPALA, G.; SINGH, R. S. **Evaluation of modified chitosan for remediation of zinc contaminated soils.** Journal of Geochemical Exploration, v. 182, p. 180-184, 2017.

VASCONCELOS, V. M. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil.** Revista Ambiente & Água, v. 6, n. 2, p. 305, 2011.

VON SPERLING, M.; JORDAO, E. P.; KATO, M. T.; ALEM SOBRINHO; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R.. **Lagoa de estabilização. In: Desinfecção de efluentes sanitários.** v. 7, Rio de Janeiro: ABES, RiMa, p.276-336, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION- WHO. **Ten chemicals of major public health concern.** World Health Organization, p. 1-4, 2010.

ZHANG, H.; REYNOLDS, M. **Cadmium exposure in living organisms: a short review.** Science of The Total Environment, v. 678, p. 761-767, 2019.

ZHANG, Q.; LI, Z.; HUANG, W. **Simulation-based interval chance-constrained quadratic programming model for water quality management: a case study of the central grand river in ontario, canada.** Environmental Research, v. 192, p. 1-14, 2020.

## LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: COMPOSTAGEM OU DESTINAÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO?

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 07/11/2020

### Gislayne de Araujo Bitencourt

Centro de Energia Nuclear na Agricultura –  
CENA  
Universidade de São Paulo – SP  
Piracicaba - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6281770652280338>

### Regina Teresa Rosim Monteiro

Centro de Energia Nuclear na Agricultura –  
CENA  
Universidade de São Paulo – SP  
Piracicaba - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/1738711000109855>

**RESUMO:** O desenvolvimento acelerado das metrópoles desencadeia o aumento da demanda por água tratada e conseqüentemente o aumento de resíduos gerados, sendo um ponto importante na geração de lodo proveniente de Estações de Tratamento de Água (ETA). Esse resíduo, é formado pela decantação do material particulado presente na água, e sua composição varia de acordo com as atividades do entorno do manancial, ou seja, da qualidade ambiental do rio e da vegetação, e dos produtos utilizados durante a etapa de coagulação na ETA. Existem várias alternativas para destinação do lodo, mas são comumente destinados em aterros sanitários e, em alguns casos, são destinados nos cursos de água sem um tratamento prévio. A associação do lodo aos resíduos da indústria sucroalcooleira

e do composto utilizado na produção de cogumelos, tratados por meio da técnica de compostagem, é possível obter um composto orgânico, com potencial de reutilização em solos agricultáveis. Diante disso, objetivou-se realizar um estudo com base na literatura, descrevendo os principais aspectos teóricos comparando a técnica de disposição do lodo de ETA em aterro sanitário (método tradicional) e a técnica de compostagem, visando reunir informações para auxiliar na destinação e reutilização do lodo, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais por meio da compostagem. O estudo simulou os gastos com a destinação em aterro sanitário comparando com a implantação de um empreendimento de compostagem e, verificou-se que existe potencial de implantação de um sistema de compostagem dentro da própria ETA, visando a minimização dos impactos ambientais associados à sua destinação em aterros sanitários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Composto orgânico, Desenvolvimento sustentável, Destinação de resíduos, Reciclagem agrícola, Resíduos.

### SLUDGE GENERATED IN A WATER TREATMENT PLANT: COMPOSTING OR DESTINATION IN A LANDFILL?

**ABSTRACT:** The accelerated development of the metropolises triggers an increase in the demand for treated water and, consequently, an increase in the waste generated, being an important point in the generation of sludge from Water Treatment Plants (WTP). This residue is formed by decanting the particulate material present in the water, and its composition varies

according to the activities surrounding the source, that is, the environmental quality of the river and vegetation, and the products used during the coagulation stage in the ETA. There are several alternatives for the disposal of sludge, but they are commonly used in landfills and, in some cases, they are used in water courses without prior treatment. The association of sludge with the residues of the sugar and alcohol industry and of the compost used in the production of mushrooms, treated by means of the composting technique, is possible to obtain an organic compost, with potential for reuse in agricultural soils. Therefore, the objective was to study, based on the literature, describing the main theoretical aspects comparing the sludge from WTP disposal technique in landfill (traditional method) and the composting technique, aiming to gather information to assist in the destination and reuse sludge, contributing to the recovery of agro-industrial waste through composting. The study simulated the expenses with the destination in a landfill compared to the implementation of a composting enterprise and, it was found that there is potential for the implementation of a composting system within the WTP itself, aiming to minimize the environmental impacts associated with its destination in landfills.

**KEYWORDS:** Organic compost, Sustainable development, Waste disposal, Agricultural recycling, Waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica, envolve um conjunto de procedimentos que possibilita a modificação em um período relativamente curto, porém com controle e monitoramento técnico (embora relativamente simples), de rejeitos orgânicos biodegradáveis, transformando-se em um complexo de materiais orgânicos estabilizados ou mineralizados, que podem ser utilizados como fertilizante ou/e condicionador de solos agrícolas (PAREDES FILHO, 2011).

O processo é um método eficiente na redução da quantidade de resíduos, transforma diferentes tipos de resíduos em fertilizante, proporcionando melhorias nas características físicas, físico-químicas e biológicas quando aplicado ao solo, apresentando-se como uma alternativa viável para o tratamento do lodo gerado em Estação de Tratamento de Água (ETA) (BITENCOURT et al., 2020).

A geração do lodo de ETA (LETA) aumentou significativamente com o aumento populacional, que conseqüentemente demanda por maior produção de água tratada. Este resíduo é formado pela decantação do material particulado presente na água, e sua composição varia de acordo com as atividades do entorno do manancial, ou seja, da qualidade ambiental do rio e da vegetação, e dos produtos utilizados durante a etapa de coagulação na ETA (LUCON et al., 2017; MOREIRA et al., 2017).

A composição do lodo é uma mistura complexa e bem diversificada, que contém polímeros e produtos químicos utilizados no tratamento da água, elementos

químicos como o alumínio, boro, ferro, fluoretos, sódio, entre outros e também contém resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos e microrganismos presentes nas águas brutas, como as algas, bactérias, vírus, sólidos suspensos, coloides, areia, argila, silte, contaminantes emergentes, entre outras substâncias (LUCON et al., 2017).

Existem várias alternativas para destinação do LETA, como a incineração, aterros sanitários, ou ainda, sua incorporação com outros materiais na fabricação de tijolos, pisos, telhas, coberturas de estradas. Mas mesmo assim, em alguns casos, são descartados nos cursos de água, sem um tratamento prévio ou ainda, são armazenados na forma de leiras no pátio da própria ETA, gerando um passivo ambiental. Esse descarte ocorre, principalmente, devido aos elevados custos com a destinação (CUNHA et al., 2019).

O custo é um importante fator na escolha do método de destinação do LETA, mas não é o único a determinar a escolha. Existe uma série de variáveis de ordem econômica e ambiental que devem ser analisadas em conjunto, a fim de selecionar o método de processamento mais apropriado para a reutilização do resíduo.

No Brasil, ainda não existem leis que regulamentam a aplicação do LETA em solos. A resolução n. 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006) faz referência apenas ao uso agrícola do lodo gerado pelas estações de tratamento de esgoto (ETE). Contudo, a elaboração de práticas agroindustriais sustentáveis que atuem no tratamento e reaproveitamento de resíduos são essenciais na redução dos impactos ambientais associados, conforme ao disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º. 12.305/2010), que dispõe a respeito da responsabilidade dos diferentes setores da sociedade, e até mesmo dos indivíduos, como relação a geração de resíduos e a aplicabilidade em programas que estimulem a redução, reutilização, e reciclagem dos resíduos (BRASIL, 2010).

Alguns pesquisadores citam a viabilidade de reutilização LETA, como a aplicação em solos degradados, visto que os compostos em maior proporção são óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro em sua composição e que dependendo da concentração desses elementos químicos, sua aplicação pode melhorar a agregação do solo, aumentar o pH, a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a capacidade de retenção e de aeração do solo, sugerindo que esta prática possa ser considerada uma possibilidade de reutilização, principalmente associado a outros resíduos (BITTENCOURT et al., 2012; FERREIRA et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2015).

Desse modo, para a compostagem do LETA pensando na obtenção de um composto aplicável em solos, é necessário seu enriquecimento com outros materiais que possam atuar como agentes estruturantes na mistura, permitindo assim a criação de espaços vazios necessários à difusão do ar, como por exemplo,

a utilização do bagaço de cana-de-açúcar, como fonte de fibras (BITENCOURT et al., 2020).

A expansão do setor sucroalcooleiro aumentou as áreas de plantio, assim com grandes volumes de resíduos (como a vinhaça e bagaço), que podem ser utilizados como fonte de nutrientes. No Brasil, a vinhaça já vem sendo aplicada em solos pela técnica de fertirrigação, entretanto sua aplicação depende da quantidade de íons no solo, pois dosagens elevadas podem causar lixiviação de íons de potássio e nitrato (AGUIAR FILHO; FERREIRA; MONTEIRO, 2010).

Ambos os resíduos citados, podem ser utilizados em conjunto com o LETA, visando aumentar a capacidade de degradação de compostos orgânicos pelos microrganismos durante o processo da compostagem. A ação de degradação dos compostos pode ser acelerada quando utilizados microrganismos com capacidade de degradar resíduos. Os fungos do gênero *Pleurotus* apresentam essa capacidade, atuam em um complexo enzimático formado por oxidases extracelulares incluindo lacases, manganês e lignina peroxidases, que possuem isoformas e não especificidade a um único substrato, transformando e mineralizando substâncias complexas convertendo-as em CO<sub>2</sub> (AGUIAR FILHO; FERREIRA; MONTEIRO, 2010; RODRIGUEZ RODRIGUEZ et al., 2013).

Pensando nisso, a reutilização de compostos após a produção de cogumelos como o Shimeji, pertencente ao gênero *Pleurotus* sp., apresentam o inóculo do fungo e o mesmo em condições ideais, como a presença de lignina que pode ser oriunda do bagaço de cana-de-açúcar e umidade adequada, têm a capacidade de colonização na mistura. associados a mistura de LETA, bagaço e vinhaça, podem constituir uma excelente combinação, acelerando o processo de degradação pelo microrganismo, visando a obtenção de um composto orgânico após a compostagem (BITENCOURT et al., 2020).

A elaboração de uma mistura constituída por LETA, bagaço, vinhaça e o composto oriundo da produção de cogumelo, podem constituir após o procedimento da compostagem, um composto orgânico com potencial de aplicação em solos agricultáveis ou na recuperação de áreas degradadas. Partindo desse pressuposto, objetivou-se realizar um estudo, com base na literatura, descrevendo os principais aspectos teóricos comparando a técnica de disposição do LETA em aterro sanitário (método tradicional) e a técnica de compostagem, visando reunir informações para auxiliar na destinação e reutilização do LETA, contribuindo para a valorização de resíduos agroindustriais por meio da compostagem.

## 2 I DESTINAÇÃO E COMPOSTAGEM DO LODO

Sob o ponto de vista econômico, a viabilidade do uso agrícola do LETA

está intimamente relacionada a política de comercialização do produto final. Neste aspecto, a organização de uma estrutura centralizada na comercialização do lodo pelas empresas responsáveis, em termos de transporte e distribuição do composto no solo, certamente minimizará o custo total de disposição final do resíduo. Na questão ambiental deve-se levar em consideração o impacto do projeto sobre a qualidade da água, sobre a fauna e flora e, sobre a saúde humana (diretamente ou via cadeia alimentar).

Para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos têm-se como métodos tradicionais, a destinação nos aterros sanitários e a incineração, na maioria das vezes empregados de forma associada a outras tecnologias, ou até mesmo entre eles, dependendo das características físicas, químicas e biológicas do resíduo em questão.

Para resíduos sólidos de constituição orgânica, os aterros sanitários têm se configurado como uma técnica comumente usada, porém amplamente criticada pelas correntes ambientais em função da demanda por grandes áreas para operação. Além disso, cabe destacar que durante a sua operação e depois de encerrada a vida útil do aterro, a área utilizada é considerada imprópria para ocupação e necessitará de monitoramento por longos anos, conforme a determinação dos órgãos licenciadores.

Os resíduos cuja fração de matéria orgânica é expressiva, a compostagem é uma alternativa interessante sob o ponto de vista ambiental, uma vez que a matéria orgânica, após passar por etapas de degradação microbiana, pode ser reincorporada ao solo. A técnica de compostagem constitui-se uma alternativa sustentável, pois além de promover a ciclagem dos nutrientes aos sistemas, produz um condicionador de solo (composto ou substrato) que pode ser valorado pela sociedade (KIEHL, 2012).

O lodo de ETA não contém características físicas que o tornem um resíduo capaz de ser compostado sozinho, por conta da umidade e o aspecto de lama (BITENCOURT et al., 2020). Desta forma, é necessário misturá-lo a outros resíduos estruturantes cuja finalidade é viabilizar e operar adequadamente um sistema de compostagem (KIEHL, 2012). Uma possibilidade técnica é promover a degradação biológica dos biossólidos juntamente com outros resíduos, no caso a vinhaça e o bagaço de cana-de-açúcar, que já vem sendo aplicados em áreas de canaviais (BITENCOURT et al., 2020; AGUIAR FILHO; FERREIRA; MONTEIRO, 2010).

Um sistema de compostagem viabiliza o processamento de resíduos, retendo-os por um tempo e em seguida os enviando às áreas de utilização. Seu impacto ao ambiente é muito menor quando comparado ao aterro sanitário, que estoca grande volume de resíduos por longos períodos. Alguns impactos causados pela instalação do sistema podem ser minimizados por elementos de projeto,

implantação e operação do mesmo (KIEHL, 2012).

O quadro comparativo demonstra as vantagens e desvantagens entre as duas técnicas: a disposição em aterro sanitário e a técnica de compostagem (Tabela 1).

Aterro Sanitário	Compostagem
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destinação de baixo custo de manutenção e execução;</li> <li>• Alternativa segura quando bem planejada dentro das normativas, porém com tempo de validade;</li> <li>• Solução para a destinação de parte dos resíduos gerados pela sociedade e indústrias;</li> <li>• Ocupa e exige grandes áreas;</li> <li>• Localização próxima a centros urbanos;</li> <li>• Exigências de características especiais de solo e em quantidade para fazer a cobertura;</li> <li>• Necessário isolamento ambiental;</li> <li>• Tem a produção de gases e percolato que muitas vezes não são reaproveitados no sistema;</li> <li>• Desativação da área após lotação máxima e exige-se o monitoramento da área;</li> <li>• Recebimento de resíduos sem necessidade de separação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatível com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS);</li> <li>• Alternativa segura, ambientalmente correta, economicamente viável, rentável e definitiva;</li> <li>• Transforma resíduos em produtos com valor agregado para ser utilizado na agricultura e/ou outras áreas;</li> <li>• Pode ser realizada em menor espaço quando comparada com os aterros;</li> <li>• Promove a redução dos passivos ambientais e esgotamento dos aterros;</li> <li>• Isenta o gerador de corresponsabilidade pelo resíduo;</li> <li>• Produção de biogás;</li> <li>• Necessária separação dos resíduos orgânicos para a destinação;</li> <li>• Trabalha com menor capacidade de recebimento de resíduos.</li> </ul>

Tabela 1 - Quadro comparativo entre as técnicas tradicionais de disposição de resíduos em aterro sanitário e a técnica de compostagem.

Após esse embasamento teórico, realizou-se uma simulação, contabilizando as despesas que são utilizadas na destinação do LETA até um aterro sanitário. A simulação contempla distâncias entre as facilidades (estação de tratamento de água e o aterro sanitário) com uma distância aproximada de 60 km entre eles, os valores foram obtidos em comércio na região de Piracicaba - SP (Tabela 2).

Atividades	Tonelada (t)	Valor (t/mês)
Transporte do LETA para o aterro sanitário	R\$ 50,00/t	R\$ 3.000,00
Taxa de destinação em aterro	R\$ 146,00/t	R\$ 8.760,00
Terra para recobrimento dos resíduos	R\$ 600 m <sup>3</sup>	R\$ 8.400,00
Mão de obra e máquinas	-	R\$ 5.000,00
<b>Custo Total</b>		<b>R\$ 25.160,00</b>

Tabela 2 - Simulação mensal dos custos para destinação de lodo de Estação de Tratamento de Água em Aterro Sanitário, tendo como referência a produção de 2,0 t/dia do resíduo e deslocamento entre os estabelecimentos com distância de 60 km.

Foi estimado um valor mensal de R\$ 25.160,00 para a destinação do LETA em um aterro sanitário. Se pensarmos em uma simulação de gasto anual, que pode sofrer alterações tanto dos valores relacionados a destinação, bem como, a quantidade de resíduo produzida, o gasto simulado foi de R\$ 301.920,00 (Tabela 2).

De acordo com Visentin et al. (2020), que analisou a viabilidade econômica da implantação de um empreendimento de compostagem de lodo de ETE, utilizando a própria área da estação, estimou o investimento inicial, apontado no ano zero do projeto, de R\$ 519.000,00. O empreendimento citado, se adequada as condições estruturais necessárias do resíduo de ETA, pois a estrutura para a compostagem tradicional é mesma. Além disso, ao final é obtido um composto com potencial de fertilidade que pode ser comercializado, o preço sugerido pelos autores para a venda sendo retirado no local de produção, foi de R\$85,00/t. Como conclusão, a compostagem foi recomendada utilizando uma mistura com o bagaço de cana de açúcar, com Valor Presente Líquido (VPL) de R\$3.669.997, Taxa Interna de Retorno (TIR) de 84%, *Payback* descontado (PBD) em 1,3 anos e Relação Benefício-Custo (B/C) 2,83.

O estudo citado acima, revela que é viável a implantação de um sistema de compostagem, visto que o empreendimento se paga em pouco tempo, pois a economia de um ano com a destinação do resíduo em aterro sanitário quase viabiliza a implantação do mesmo. Vale ressaltar que, os materiais utilizados apresentam particularidades e que precisam ser adequados a realidade do local.

Os aspectos técnicos e ambientais são de difícil quantificação e comparação, por ser um tipo de empreendimento inovador no mercado. O objetivo foi comparar as técnicas e expor a necessidade de reutilização destes resíduos, bem como seu potencial de aplicabilidade, tanto na esfera ambiental como econômica.

A adubação representa cerca de 30% dos custos de produção, assumindo um papel de alta importância para o aumento da produtividade da cultura de cana de açúcar. Neste sentido, o aproveitamento de resíduos no próprio canavial, como fertilizante orgânico, quando devidamente tratados e/ou compostados, pode ser vantajoso, proporcionando benefícios agrônômicos (AGUIAR FILHO; FERREIRA; MONTEIRO, 2010).

Dentre as metodologias de avaliação da toxicidade e qualidade de um solo contaminado, existe a possibilidade de avaliar os efeitos de poluentes na flora terrestre. A norma ABNT NBR ISO 11269-2 (2014), descreve como devem ser feitos os testes para avaliação dos efeitos de emergência e crescimento das plantas expostas a um produto/composto químico ou orgânico, conhecido ou desconhecido, aplicado ao solo.

Nesse contexto, Bitencourt et al. (2020), realizou a compostagem do LETA associado ao bagaço e a vinhaça e, a inoculação de dois fungos do gênero

*Pleurotus*. A compostagem foi realizada por um período de 20 e 60 dias, após isso, o composto obtido foi aplicado ao solo e realizada a semeadura de milho e feijão guandu. Após 21 dias da emergência das plantas, avaliou-se alguns parâmetros morfológicos como: comprimento de parte aérea e de raiz (cm) e a produção de massa seca de raiz e de parte aérea (g). Os resultados evidenciaram que existe um potencial de reutilização do LETA compostado nessa composição de mistura, que promoveu melhorias no crescimento da forrageira feijão guandu.

A aplicação de LETA em áreas agricultáveis ainda não é praticada, devido à falta de informações quanto a sua composição nutricional e com relação a compostagem associado a outros resíduos. Em contrapartida, a aplicação de lodo de ETE vem sendo praticada como fertilizante e condicionador de solo, podendo substituir, ainda que parcialmente os fertilizantes minerais.

A simulação de implantação deste projeto traz uma ideia de reutilização de resíduos através da técnica de compostagem. No entanto, se fazem necessários estudos mais aprofundados para verificar a utilização deste composto obtido em áreas de canaviais e/ou outras culturas.

A prática atual de disposição do LETA, não traz consigo a preocupação da minimização dos impactos ambientais associados. Portanto, as empresas responsáveis deveriam apoiar esta ideia consolidando uma parceria com as empresas sucroalcooleiras, a fim de ambas incorporarem técnicas sustentáveis, pois estas são vistas diferentemente perante a sociedade e o mercado internacional, sendo um modelo a ser seguido e priorizado pelas gerações futuras. Assim, o comprometimento dos gestores com a responsabilidade socioambiental e as melhorias contínuas empresariais, devem levar em consideração, além dos custos, os benefícios intangíveis deste empreendimento, tornando-o de valor inestimável.

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem do lodo gerado em Estação de Tratamento de Água na agricultura apresenta-se como uma alternativa viável e sustentável, desde que precedida da incorporação de outros resíduos estruturantes, como o bagaço de cana-de-açúcar e de fonte de nutrientes como a vinhaça e, para a aceleração da degradação microbiana, a adição do inóculo de fungos do gênero *Pleurotus*. Além disso, um planejamento prévio respeitando os parâmetros físicos, químicos e ambientais do processo da técnica de compostagem.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR FILHO, J.M.M.; FERREIRA, L.F.R.; MONTEIRO, R.T.R. Use of vinasse and sugarcane bagasse for the production of enzymes by lignocellulolytic fungi. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.53, p.1245-1254, 2010.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSE, M.M.; MARIN, L.M.K.de S.; SIMÃO, C.C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.17, n.3, p. 315-324, 2012.

BITTENCOURT, G.A.; SOUZA, G. de.; FRAZÃO, J.J.; APOLARI, J.P.A.; MONTEIRO, R.T.R. Uso do lodo de ETA no crescimento de feijão guandu e milheto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n.20, v.1, p.10-16, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a política nacional de resíduos sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 de agosto de 2010.

CUNHA, G.D. da.; LIMA, J.A.V.; STACHIW, R.; TRONCO, K.M. de. Q. Caracterização e destinação ambientalmente corretas do lodo gerado pelas estações de tratamento de água. **Nature and conservation**, v.12 - n.2, p. 19-30, 2019.

FERREIRA, A.C. de. S.; SILVA, J.B.G.; PEREIRA, R.de. O.; OLIVEIRA, A.P.de.S. Avaliação do desenvolvimento do capim Tifton cultivado em latossolo adubado com lodo de ETA. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 07, n. 01, p. 64-83, 2017.

KIEHL, R.J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 6. ed. Piracicaba: O autor, 2012. 171 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11269-2. Qualidade do solo – determinação dos efeitos de poluentes na flora terrestre**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2014. 23 p.

LUCON, I.M.; BERTON, R.S.; COSCIONE, A.R. Adsorção de fósforo em latossolo tratado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista AIDIS de Ingeniería y ciencia ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 10, n. 3, p. 317-326, 2017.

MOREIRA, V.T.G.; PAIVA, G.S.de.; SOARES, A.F.S. Lodo de estação de tratamento de água (LETA): resíduo ou insumo?. **Revista Petra**, v.3, n.1, p. 17-37, 2017.

OLIVEIRA, A. P. S; SILVA, J. B. G. S; PEREIRA, R. O; SANTOS, A. S. P. Avaliação dos atributos de um latossolo adubado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista Internacional de Ciências**, v..5, n.2, p. 1 -19, 2015.

PAREDES FILHO, M.V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, v.3, n.3, p. 73- 80, 2011.

RODRIGUEZ RODRIGUEZ, C.E.; CASTRO-GUTIÉRREZ, V.; CHIN-PAMPILLO, J.S.; RUIZ-HIDALGO, K. On-farm biopurification systems: role of White rot fungi in depuration of pesticide-containing wastewaters. **Federation of European Microbiological Societies**, v.345, p. 1-12, 2013.

VISENTIN, R.; MATEUS, C.; ESPERANCINI, M.; BOAS, R.V. Viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto para uso agrícola. **Holos Environment**, v.20, n.2, p.152-167, 2020.

## PEGADA HÍDRICA VERDE DA CADEIA PRODUTIVA DA PECUÁRIA EM UMA FAZENDA NO MUNICÍPIO DE ALENQUER, REGIÃO OESTE DO PARÁ, AMAZÔNIA, BRASIL

*Data de aceite: 01/12/2020*

*Data de submissão: 05/10/2020*

### **Iize Caroline Gois Braga Pedroso**

Instituto de Biodiversidade e Florestas,  
Universidade Federal do Oeste do Pará– Ufopa  
Santarém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/8375527746629274>

### **Ildson de Souza Tenório**

Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas,  
Universidade Federal do Oeste do Pará– Ufopa  
Santarém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/6616074900416909>

### **Lucas Meireles de Sousa**

Universidade Federal do Oeste do Pará– Ufopa  
Santarém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/3429377448008694>

### **Urandi João Rodrigues Junior**

Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas,  
Universidade Federal do Oeste do Pará– Ufopa  
Santarém, Pará  
<http://lattes.cnpq.br/1439410429991806>

**RESUMO:** Este trabalho utiliza como metodologia a Pegada Hídrica (PH) verde para mensuração do uso da água na produção de pastagem da pecuária em uma fazenda do município de Alenquer, Pará, Brasil. Tal estudo objetiva avaliar as informações obtidas e as médias mundiais de outras produções da pecuária para comparação de dados, devido à importância de produzir pesquisas que viabilizem maiores informações

sobre o bioma Amazônia, principalmente no que tange aos recursos hídricos. Para mensurar a PH verde o cálculo feito utiliza a fórmula de Pegada Hídrica desenvolvida por Chapagain e Hoekstra em 2003 e adaptada para a região amazônica. Alguns dados climatológicos de precipitação e evapotranspiração foram obtidos através do software CROPWAT, um software que além de dispor as informações citadas anteriormente, fornece dados referentes à quantidade de água necessária para irrigar determinada cultura. A cultura observada foi a gramínea *Brachiaria*, que possui um aproveitamento no pasto para o gado, com a duração, em média, de 4 a 5 anos, e que tem um ciclo de plantio e desenvolvimento de 90 dias até o consumo bovino. No entanto, o ciclo do gado na região de estudo leva em média 1095 dias e, devido a isso, houve a necessidade de calcular a pegada hídrica dos outros 1005 dias que o gado leva para chegar ao tempo de abate. A pegada verde total para a produção de capim na área de estudo resultou em 12.348,12 litros/kg -1. Verificou-se que a demanda por irrigação, cujos valores são iguais à zero, indica que não há a necessidade de irrigação para o plantio de pasto na área de estudo, isto pelo fato de chover bastante durante determinada época do ano. Logo, esse período de alta pluviosidade é aproveitado para obter um melhor plantio, mesmo em período de seca, o que colabora para a facilidade e sustentabilidade na manutenção das áreas da região – frisa-se que essa sustentabilidade se refere somente à alimentação do gado na Amazônia, e não na produção como um todo ou em outro local. Portanto, este trabalho surge como insumo aos estudos que embasem

políticas eficazes na gestão da água na agropecuária e à conservação deste recurso natural com qualidade cada vez mais ameaçada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pegada Hídrica, Uso da água, Sustentabilidade, Agropecuária, Amazônia

## GREEN WATER FOOTPRINT OF A LIVESTOCK PRODUCTION CHAIN IN THE MUNICIPALITY OF ALENQUER IN WEST REGION OF STATE OF PARÁ, AMAZON, BRAZIL

**ABSTRACT:** This paper works with the Green Water Footprint (WF) tool for measure the water management in a livestock pasture production farm in the municipality of Alenquer, State of Pará, Brazil. The study aims to evaluate information of the local livestock production, to compare with available global patterns information, once there's an extremely importance to produce research that make available more data about Amazon biome, especially related to water resources. To measure and calculate Green WF, it was used Water Footprint Formula developed by Chapagain and Hoekstra in 2003, adapted for Amazon region specifications. Some climatological data like precipitation and evapotranspiration was obtained through CROPWAT software, that besides show informations quoted previously, as well provides data about minimum necessary quantity of water to irrigate a farm culture. The culture evaluated was the *Brachiaria* grass that in cattle grazing has average utilization about 4 to 5 years, and a planting cycle and development about 90 days until the harvest to cattle consume. However, the studied regional cattle cycle production takes average period of 1095 days, and for that, it was necessary calculate WF of the 1005 days remaining to the cattle slaughter time. The total of Green WF for the studied grass production area resulted in 12.348,12 L/kg<sup>-1</sup>. It's observed that irrigation demanding is equal to zero, it indicating there's no irrigation necessity for pasture planting in studied area, that can be explained for raining high frequency during a determinated period of the year. Then, that high pluvius period is used to obtain a better planting culture, even in drought period. So it collaborates to facility and sustentability in regional areas maintenance. It's extremely necessary to highlight that the sustentability is only about cattle feeding step, it's not include evaluation of the others steps in production cycle, neither about farm places established in other regions. So, this work emerge as base to other studies to produce effective policies about water management in livestock agriculture and to conservation of threatened quality natural resources.

**KEYWORDS:** Water footprint, Water Management, Sustainability, Agriculture, Amazon.

## INTRODUÇÃO

A região amazônica possui uma imensa área geográfica, sendo que grande parte dessa área fica localizada em território brasileiro. Nela se encontra a maior bacia hidrográfica do planeta, a bacia amazônica, ocupando vários estados da federação, dentre eles o Pará. Mesmo com todo esse imenso volume, o uso de água, principalmente para produção de alimentos, traz grandes preocupações, e

uma delas engloba a pecuária, produção que é muito forte no estado. O Pará possui um dos maiores rebanhos de gado bovino do Brasil, em 2013 foram registrados 19.165.028 cabeças de gado (IBGE, 2015). Tal atividade e sua cadeia produtiva necessitam de uma demanda extremamente grande de água, necessitando de um melhor gerenciamento de recursos hídricos para melhor atender a produção e proporcionar a inclusão de políticas sustentáveis.

O conceito de pegada hídrica (PH) tem sido muito discutido pelos cientistas para ressaltar a grande importância de se ter uma adequada gestão de uso de água (SILVA et al., 2012). Tal conceituação pode ser definida como a quantidade de água consumida pela população humana (HOEKSTRA e HUANG, 2002), ou ainda, como o volume de água total utilizado durante toda a cadeia de produção de bens e serviços, além de seu consumo direto e indireto neste processo. Tem a principal finalidade de quantificar o uso da água no decorrer da produção (YU, 2010).

A pegada hídrica trabalha com três tipos de água básica que são a água azul, verde e cinza. A PH azul está relacionada com a água consumida em uma bacia hidrográfica, seja ela subterrânea ou superficial, enquanto que a PH verde corresponde à água que precipita, mas não escoar superficialmente e nem fica armazenada em bacias subterrâneas, porém fica temporariamente no solo ou na vegetação. É a água consumida da chuva pela produção. Já a PH cinza indica o quanto a água está poluída, pois se refere à quantidade de água necessária para diluir, sanar ou tratar efluentes de forma que, ao final do processo, a qualidade da água esteja dentro dos padrões aceitáveis (HOEKSTRA et al, 2011).

O cálculo de pegada hídrica surge como uma ferramenta que auxilia na manutenção sustentável de água, possibilitando o crescimento de políticas públicas para melhorar a gestão de água pela comunidade (MENDONÇA et al., 2013). Chapagain e Hoekstra (2003) desenvolveram fórmulas para se calcular a PH de cada tipo seja ela azul, verde ou cinza. Há uma fórmula para se fazer o cálculo de cada uma delas e estes podem ser adaptados para o tipo de pesquisa necessária (PALHARES, 2013).

A cadeia produtiva brasileira é complexa e formada por produtores, frigoríficos e comércio. A produção dos bens alimentícios exportados é alta. O Brasil é um bom exemplar quando está em pauta a produção primária, como o caso da soja, açúcar ou, até mesmo, semimanufaturados como corte de carne bovina. Por este motivo, a água como produto de exportação indireta brasileira, remete a um risco ambiental em escala global, pois fica evidente quem dispõe o recurso hídrico para a escassez de outras regiões do mundo. Todos os produtos exportados, principalmente agrícolas como carne e soja, demandam um grande volume de água (CARMO et al., 2007). Neste ponto, cabe salientar o conceito de água virtual, cuja definição é o volume de água doce empregado na produção de determinado bem ou serviço, que não está

agregado ao produto em sua forma final, mas foi utilizado ao longo de toda a sua cadeia produtiva. Desta forma, o Brasil se destaca como um grande exportador de água virtual no mundo (HOEKSTRA e CHAMPAGAIN, 2007).

As três principais vertentes de uso consuntivo de água no Brasil são abastecimento doméstico, produção industrial e produção agrícola. Em vários países estas três finalidades chegam a corresponder cerca de mais de dois mil litros de água por habitante por dia (CHRISTOFIDIS, 2013). Levando em conta os aspectos que envolvem a agropecuária, a pegada hídrica está sendo desenvolvida como um importante fator para meios de informação e tomada de decisão no que se refere à economia e à sustentabilidade.

Pimentel (2004) também afirma que a quantidade de água usada para alguns produtos é muito elevada e propõe que esse gasto possa ser diminuído a partir da mudança da dieta alimentar de várias populações. Desta forma, o ideal seria uma readaptação alimentar substituindo alimentos cuja cadeia produtiva exija grandes quantidade de água. Portanto, este trabalho empregará a metodologia da pegada hídrica verde para mensuração do uso da água na produção de pastagem da Pecuária, isto em uma fazenda situada no município de Alenquer, região Oeste do Pará, Amazônia, Brasil. Almejando avaliar as informações obtidas e as médias mundiais de outras produções da Pecuária para comparação de dados.

## METODOLOGIA

Foi definida uma área de pesquisa de campo exploratória na região Amazônica, isso considerando critérios ligados à disponibilidade de acesso físico, de acesso às informações e a importância dessa região no quesito ambiental, no que se refere à obtenção de dados e informações como insumos para comparações a nível mundial.

Observando a importância de produzir pesquisas que viabilizem maiores informações do bioma Amazônia, principalmente no que tange aos recursos hídricos, o seguinte estudo cuja realização ocorreu na fazenda Jatobá, localizada na PA-247, no Km 17, município de Alenquer, região Oeste do Pará, visou estimar a quantidade de água utilizada para produção da pastagem consumida por bovinos de corte da fazenda/área de estudo.

Neste processo foi utilizado um GPS da marca *Garmim* que realizou o reconhecimento do local e também registrou as coordenadas geográficas do posicionamento dos corpos hídricos próximos. O mapa da fazenda, inclusive com seus corpos hídricos marcados, encontra-se na figura 01.

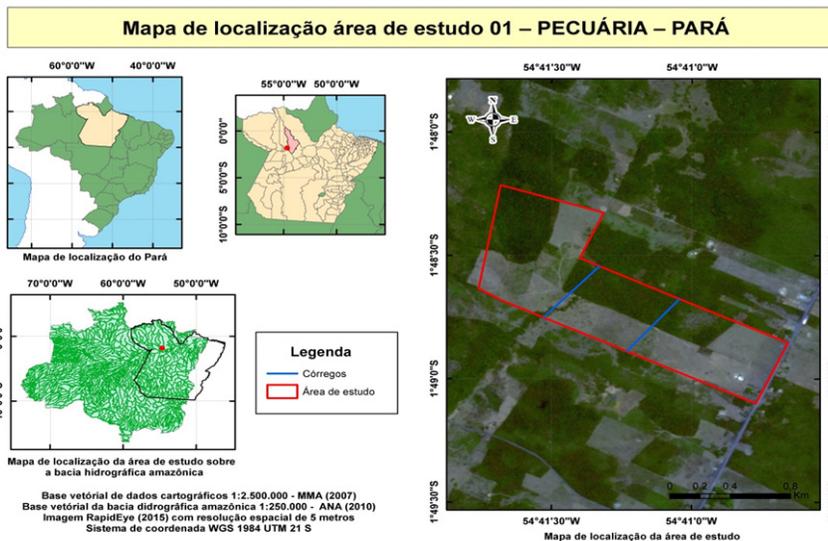


Figura 1: Mapa da fazenda de estudo.

Fonte: Autor do Trabalho.

Além do embasamento bibliográfico necessário a qualquer produção científica, este trabalho dispôs de auxílio empírico, pois, foi de grande importância aos processos desenvolvidos, as informações obtidas através das entrevistas com alguns produtores, estas realizadas em fazendas situadas nas proximidades da área de estudo, na região oeste do Pará.

Frisa-se que a Pegada Hídrica (PH) – ferramenta de mensuração utilizada – trabalha com três tipos de água básica que são a azul, verde e cinza. Para o estudo em questão será utilizada a metodologia específica da PH verde, esta corresponde à água que precipita, mas não escoa superficialmente e nem fica armazenada em bacias subterrâneas, porém, permanece temporariamente no solo ou na vegetação. É a água consumida da chuva pela produção. (HOEKSTRA et al, 2011).

Para mensurar a pegada hídrica verde, o cálculo foi feito utilizando a fórmula de PH desenvolvida por Chapagain e Hoekstra em 2003 e adaptada para a região amazônica. Alguns dados climatológicos de precipitação e evapotranspiração foram obtidos através do software CROPWAT, um software da FAO, que, além de dispor as informações citadas anteriormente, fornece dados referentes à quantidade de água necessária para irrigar determinada cultura. Neste estudo, também se usou o software para a obtenção de dados de precipitação. Isto a fim de mensurar o quanto de água é necessária para o plantio da cultura de *Brachiaria* – gramínea que ocupa mais de 50% da área de pastagem brasileira (COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.;

FAQUIN, V., 2006) e é objeto de análise deste trabalho.

Quanto à gramínea, ela tem um ciclo de plantio e desenvolvimento que possui 90 dias. No que faz referência ao aproveitamento deste capim no pasto para o gado, a duração ocorre, em média, de 4 a 5 anos. Tais dados foram obtidos através das entrevistas aos produtores rurais da região. No mais, inicialmente, referente à pastagem de gado abordada, é imprescindível que haja a delimitação do escopo do trabalho, pois, somente uma classificação de PH e, conseqüentemente, uma etapa da cadeia produtiva da pecuária será abordada neste estudo. A figura 02 mostra o escopo da pesquisa na etapa 1 e a aplicação da metodologia da pegada hídrica nas demais etapas da produção. Observa-se que aqui apenas a etapa verde (1) será mensurada.

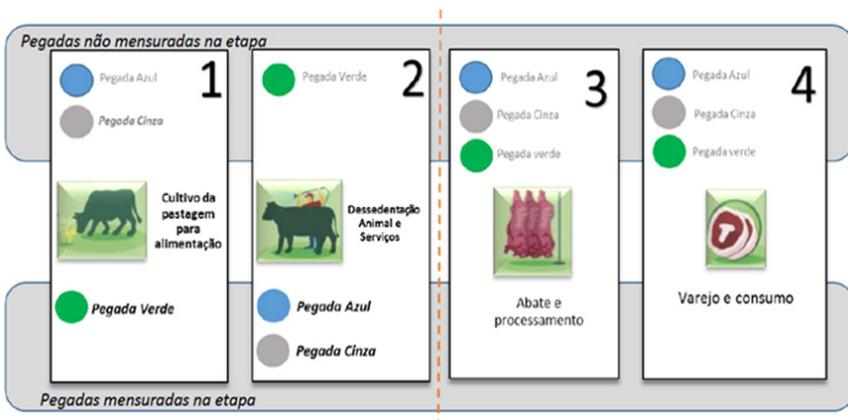


Figura 2: Cadeia produtiva da pecuária, escopo da pesquisa e pegada hídrica.

Fonte: Autor do Trabalho.

Para o estudo das etapas é observado o modelo de criação do gado de sistema de produção a pasto predominante nas regiões de estudo e no país. A etapa 1 da cadeia produtiva da pecuária faz referência ao cultivo da pastagem para alimentação do gado. Nela foi estimada a pegada verde da pastagem desenvolvida na área (água da chuva evapotranspirada) usando, como já citado, o CROPWAT e o cultivo da gramínea *Brachiaria*.

Através dos dados advindos deste software há a obtenção do total de água utilizada para a pastagem. Os valores expostos na tabela 01 são os dados utilizados na equação 01. Estes tem que ser divididos pelo tamanho da área de pesquisa em hectares, pelo número de cabeças de gado criadas na propriedade, e pelo peso médio final do animal, considerando a porcentagem de bois e vacas no rebanho total. Obtém-se, assim, a pegada hídrica em  $m^3 \cdot ton^{-1}$  de carne bovina. O processo

é demonstrado na equação 1:

$$\text{Pegada Verde (Total)}: \frac{Q_{\text{Total}} \text{Água} * \text{Área}}{\text{RebanhoTotal} * \text{MédiaPeso} * \text{Participação Rebanho}} \quad \text{equação (1)}$$

DADOS	VALOR	UNIDADE	FONTE
Tamanho da Área Pesquisada 1	132	ha	Produtor
Evapotranspiração (Média/Dia)	2,82	mm	CROPWAT
Período de Plantio e Crescimento da Cultura	90	dias	Produtor
Dias Totais de Cultura	90	dias	Produtor
Média de Produção (Pastagem/ha)	2000	kg/ha	BALSALOBRE (2008)

Tabela 1. Dados da pegada hídrica verde.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 podemos observar os estágios de desenvolvimento de pastagem durante seu ciclo de cultivo. A coluna Demanda de Irrigação, cujos valores estão iguais à zero, indica que não há a necessidade de irrigação para o plantio de pasto na área de estudo. Isto comprova as informações obtidas junto aos produtores que afirmaram não haver necessidade de irrigar as áreas de pastagem pelo fato de chover bastante durante determinada época do ano. Eles ainda aproveitam este imenso volume de água para obter um melhor plantio.

CÁLCULO DA PEGADA HÍDRICA VERDE						
Mês	Estágio	Coeficiente (kc)	Evapotranspiração da cultura	Evapotranspiração da cultura (média)	Chuva efetiva	Demanda de irrigação
JAN	1	Inicial	0.85	3.04	41.6	0.0
JAN	2	Inicial	0.85	2.93	47.4	0.0
JAN	3	Desen.	0.86	2.91	48.7	0.0
FEV	1	Médio	0.89	2.91	49.9	0.0
FEV	2	Médio	0.90	2.86	51.8	0.0
FEV	3	Médio	0.90	2.83	52.7	0.0
MAR	1	Tardio	0.88	2.76	53.8	0.0
MAR	2	Tardio	0.85	2.63	55.0	0.0
MAR	3	Tardio	0.81	2.51	54.6	0.0

Tabela 2. Dados obtidos do software CROPWAT para o cálculo de pegada hídrica verde.

A coluna Chuva Efetiva mostra que nesse período há uma precipitação de 455,5 mm. O desenvolvimento da cultura da gramínea *Brachiaria* leva

aproximadamente 90 dias para o consumo bovino, no entanto, o ciclo do gado leva em média 1095 dias. Logo, foi necessário calcular a pegada hídrica dos próximos 1005 dias que o gado leva para chegar ao tempo de abate. Obteve-se o valor de 1,41 mm/dia-1 o que totaliza 14.168,03 m<sup>3</sup>/ha-1 para manutenção da pastagem. Portanto, a pegada verde total para a produção de capim na área de estudo foi de 12.348,12 litros/kg -1. Tais informações e o resultado foram obtidos através da equação da PH verde adaptada e disposta nesta pesquisa que teve como base os dados do CROPWAT da tabela 01.

O Gráfico 01 exibe a comparação da pegada verde da fazenda/área de estudo com a média mundial da produção da Pecuária. Confrontando os dados obtidos com os outros estudos dispostos no gráfico, observa-se que o uso de água para produção de capim é menor na área de estudo deste trabalho, isto se deve ao fato de chover bastante na região e à forma como os pecuaristas tem buscado utilizar os recursos hídricos oferecidos nela. No trabalho de Hoekstra (2012), o cálculo da PH verde mundial obteve o total de 14.414 L/kg, isto usando tanto o sistema de pastagem bem como o de confinamento. No que se refere especificamente ao sistema de pastagem ele obteve média de 21.121 L/Kg.

Em período de seca, a vantagem de reduzir as pegadas hídricas verdes por unidade de cultura na agricultura é que a produção total das áreas nesse período aumenta. Em decorrência do aumento da produção de sequeiro, a necessidade da produção em outros lugares é menor, diminuindo as demandas por terra e por recursos hídricos (verdes ou azuis) em outros lugares. Isto reflete de forma que reduzir a pegada hídrica verde por tonelada de cultura em um lugar pode resultar na redução da pegada hídrica azul, bem como na produção agrícola como um todo (HOEKSTRA, 2011).

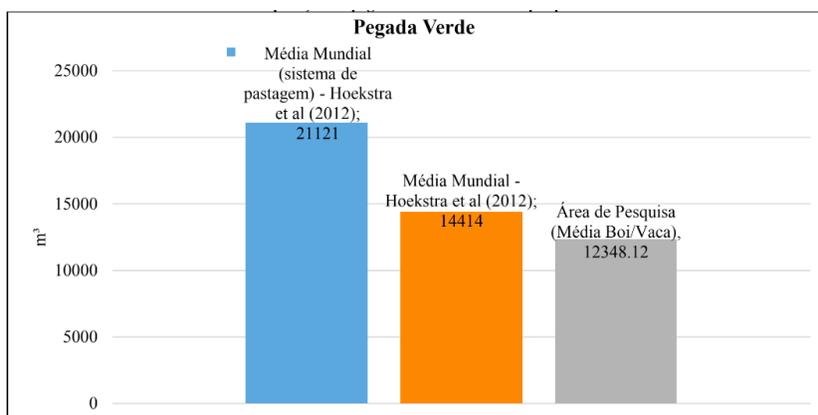


Gráfico 1. Comparação da pegada hídrica da área de pesquisa com a mundial.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que a quantidade de água utilizada para produção de pastagem está bem abaixo da média de pegada verde mundial. Isto ocorre devido à região amazônica ter a quantidade de precipitação consideravelmente alta, o que colabora para a facilidade e sustentabilidade na manutenção das áreas nela situadas. Faz-se necessário afirmar que esta pesquisa dispõe sobre a sustentabilidade que a região amazônica proporciona especificamente na etapa inicial (1) da produção do gado, pois estudos que viabilizem mensurar a cadeia produtiva da Pecuária por completo ainda se encontram em desenvolvimento. No mais, a sustentabilidade abordada no presente trabalho faz referência à alimentação do gado na Amazônia, e não na produção como um todo ou em outro local.

Esta pesquisa estabelece o início dos estudos aprofundados referentes à metodologia da pegada hídrica e sua junção à cadeia produtiva da Pecuária. Pesquisar sobre estas duas e produzir insumos científicos quanto a elas é de grande relevância considerando o crescente consumo mundial de carne bovina e a necessidade de aliar ele ao desenvolvimento sustentável, bem como a necessidade de serem feitos estudos que embasem políticas eficazes na gestão da água e à conservação desse recurso natural com qualidade cada vez mais ameaçada.

## REFERÊNCIAS

1. CARMO, R.L.; OJIMA, A.L.R.O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T.T. Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, SP, v. X, n. 2. p. 83-96, jan. – jun. 2007.
2. COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V. Adubação nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do cerrado. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás, dez. 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/215338/1/doc192.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.
3. CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Netherlands: Unesco-IHE, 2003.
4. CHRISTOFIDIS, D.; Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, Ano XXII, n. 1, jan. - mar. 2013.
5. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Cropwat. Versão 8.0. [S.l.]: FAO, 2015. Disponível em: <[http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html)>. Acesso em: 05 mai. 2016.
6. HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. **Ecological Economics**, [S. l.], v.64, p.143-151, 2007.

7. HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALADAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global. Tradução Solução Supernova, [S.l.: s.n.], 2011. Tradução de: The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard.
8. HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The hidden water resource use behind meat and dairy. **Animal Frontiers**. [S.l.], v. 2, p. 3-8, 2012.
9. HOEKSTRA, A. Y.; HUANG, P. Q. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series. Netherlands: IHE Delft, 2002. 66p.
10. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela de rebanhos bovinos. 2015.
11. MALAFAIA, G. C. **As Interações entre os Agentes da Cadeia Produtiva da Pecuária de Corte no Brasil: implicações para a sustentabilidade**. [entre 2014 e 2016]. 1 Eslaide, color. Disponível em: <[http://docplayer.com.br/storage/27/9850536/1470591106/iZtR6dDCfoSujQ7\\_vyIFBg/9850536.pdf](http://docplayer.com.br/storage/27/9850536/1470591106/iZtR6dDCfoSujQ7_vyIFBg/9850536.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2016.
12. MENDONÇA, C. B.; TADEU, N. D.; SINISGALLI, P. A. A. Pegada hídrica da bovinocultura de corte no Brasil: uma comparação entre a produção em pastagem manejada e não manejada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 10. 17 a 22 nov. 2013, Bento Gonçalves. **Publicações...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.
13. PALHARES, J. C. P. Pegada hídrica de suínos e o impacto de estratégias nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**. [S. l.], v. 18, n. 5, p. 533–538. 2013.
14. SILVA, V. P. R.; ALEIXO, D. O.; DANTAS-NETO, J.; MARACAJÁ, K. F. B.; DE ARAÚJO, L. E. Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 17, n. 1, p. 100–105, 2012.
15. YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K. GUAN, D. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, [S. l.], v. 69, p. 1140-1147, 2010.

# CAPÍTULO 14

## SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO DE MILHO, FEIJÃO E MANDIOCA CONSORCIADOS EM SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Data de aceite: 01/12/2020

Data de submissão: 07/11/2020

**João Paulo Apolari**

Escola Municipal de Ensino Fundamental Prof<sup>a</sup>  
Adalgisa Perim Balestro Franzini  
Prefeitura Municipal de Araras  
Araras - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/4466408577931725>

**Gislayne de Araujo Bitencourt**

Centro de Energia Nuclear na Agricultura–CENA  
Universidade de São Paulo – SP  
Piracicaba - São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/6281770652280338>

**RESUMO:** Uma maior estabilidade do agroecossistema pode ser obtida através do plantio consorciado, o qual, sob manejo orgânico, torna-se um fator ambiental que pode ser utilizado como complemento a outras técnicas de cultivo. Baseado nisso, objetivou-se estudar um sistema de produção orgânico de milho (*Zea mays*, variedade BR 106), feijão (*Phaseolus vulgaris*, cultivar IAC Pérola) e mandioca (*Manihot esculenta*, variedade IAC 15) consorciados com soqueiras da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Foram avaliadas, a produtividade das culturas, a biomassa residual de milho, feijão e mandioca, e a renda bruta obtida em cada sistema. Para as condições do experimento, o tratamento cultura intercalar de milho apresentou os melhores resultados quanto à produtividade de espigas

verdes (kg/ha), a produção de biomassa (kg/ha) e renda bruta estimada (R\$/ha). A alternativa do consórcio entre soqueiras e o milho, demonstra ser uma técnica eficiente que, sob a ótica da agroecologia, se torna uma ferramenta importante na preservação e manutenção do agroecossistema com produtividade e rentabilidade superior ao monocultivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agroecossistema, Consorciação, Nutrição orgânica.

### PRODUCTION SYSTEM OF ORGANIC MAIZE, BEAN AND MANIOC INTERCROPPED IN RATOON-CANE

**ABSTRACT:** A Greater stability of an agroecosystem can be achieved through the planting consortium which, under organic management, becomes an environmental factor that can be used to complement other techniques of cultivation. The objective was to study a system of production for organic crops of maize (*Zea mays*, cultivar BR 106), bean (*Phaseolus vulgaris*, cultivar IAC Pérola) and manioc (*Manihot esculenta*, cultivar IAC 15), intercropped with ratoon-cane (*Saccharum* spp.). Productivity of the crops, the residual biomass waste of maize, beans and manioc, and the gross income obtained in each system were evaluated. For the conditions of the experiment, the treatment intercropped maize (T2) showed the best results on productivity of green maize ears (kg/ha), production of biomass (kg/ha) and gross income (R\$/ha). The alternative of the consortium with ratoon-cane proves to be an effective technique that, from the viewpoint of agroecology, becomes an important tool for

preserving and maintaining the agroecosystem.

**KEYWORDS:** Agroecosystem, Intercropping, Organic nutrition.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os interesses econômicos das atividades antrópicas direcionam os processos produtivos a uma simplificação, em seus mais variados ambientes, como por exemplo, em agroecossistemas, o que acaba interferindo em sua sustentabilidade. Entretanto, para manter a integridade das funções ambientais, a diversidade é uma condição fundamental nos ecossistemas (SANTOS et al., 2014).

Objetivando salvaguardar o mais próximo possível as condições ambientais naturais, a atividade antrópica deve abranger manejos alternativos, adaptados ao ambiente, e contemplando práticas que minimizem impactos resultantes dessas atividades, sobretudo na agricultura (NODARI; GUERRA, 2015). Para tanto, na tentativa de resguardar um sistema de produção equilibrado, deve-se contemplar a maior diversidade possível de espécies, pois na agricultura convencional a preocupação com tais interações se restringe às interferências sobre a produtividade (MARIANI; HENKES, 2014).

Inúmeros sistemas e técnicas agrícolas englobam práticas direcionadas a uma adequação dos meios produtivos, priorizando a manutenção dos processos ecológicos. A abordagem agroecológica, por exemplo, adicionada ao manejo do sistema de cultivo, procura entender e preservar tais interações, sobretudo através do sistema de produção orgânico, que compreende uma técnica onde todo manejo agrícola está baseado no respeito ao meio ambiente e na preservação de seus recursos (SANTOS et al., 2014; NODARI; GUERRA, 2015).

Uma alternativa que pode incorporar práticas desejáveis a tal condição é o sistema de plantio consorciado, que pode ser definido como uma prática agrícola que visa implantar em uma mesma área diferentes espécies de cultivo de acordo com um plano pré-definido, onde uma espécie convive com outra em todo ou em parte do seu ciclo, incorporando vantagens ao nível de ambiente como um todo. A relevância do consórcio, especialmente para pequenos produtores, está na possibilidade de diversificação de cultivares, pois garante maior segurança alimentar, diminui as chances de perda na produção, além de proporcionar melhor utilização do espaço agrícola, o que, sob aspectos agroecológicos, contribui para uma estabilidade socioeconômica e ambiental (CARVALHO et al., 2017; SOUZA et al., 2011).

A produção orgânica de cana-de-açúcar vem sendo recomendada principalmente pelo setor sucroenergético, aliado aos benefícios socioambientais, requisitos do mercado consumidor quanto à segurança alimentar e pela resposta econômica (DANTAS et al., 2015). Entretanto, existem alguns entraves, como

o controle de pragas e plantas daninhas, que podem acarretar na redução do perfilhamento e da produtividade de colmos e sacarose, decréscimo da longevidade, queda da qualidade da matéria-prima e dificuldade nas operações de colheita e transporte (CARVALHO et al., 2017; DANTAS et al., 2015).

Para minimizar os efeitos adversos, o consorciamento entre espécies, principalmente leguminosas são recomendados (DANTAS et al., 2015; SANTOS et al., 2016). Vários são os trabalhos realizados sobre o consórcio entre milho e feijão, sendo os mais predominantes no Brasil (CARVALHO et al., 2017; SOUZA et al., 2011). As características das duas culturas citadas, quando consorciadas apresentam alta produção por se complementarem com relação as exigências das culturas, como por exemplo, a alta demanda de nitrogênio pelo milho e proteção contra a elevada luminosidade e temperatura para o feijão (SOUZA et al., 2011). Li et al. (2013) cita os benefícios do consorciamento entre a cana-de-açúcar e soja, em que houve aumento da produtividade de colmos.

A adoção de sistemas de consorciação reduz o impacto da monocultura sob os solos, trazendo uma série de vantagens agroecológicas para as culturas, meio ambiente e a valorização dos produtos de pequenos produtores, em especial agricultores familiares (CARVALHO et al., 2017; SANTOS et al., 2014; SOUZA et al., 2011) Baseado nisso, objetivou-se com este trabalho estudar um sistema de produção orgânico para as culturas de milho (*Zea mays*, variedade BR 106), feijão (*Phaseolus vulgaris*, cultivar IAC Pérola) e mandioca (*Manihot esculenta*, variedade IAC 15) consorciados nas entrelinhas da soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), através da determinação da produtividade em kg/ha e da quantificação da biomassa produzida (kg/ha), bem como da renda bruta (R\$/ha) gerada pelas culturas intercalares.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Araras – SP, sob as coordenadas 22° 18' S de latitude e 47° 23' W de longitude. A altitude local é de 617m, com relevo suavemente declivoso, e o clima da região é do tipo Cwa, tropical úmido com estiagem no inverno e chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

A implantação se deu em área destinada a experimentos orgânicos, localizada nas proximidades do Laboratório de Agricultura Orgânica (LAO) do Departamento de Tecnologia Agro-Industrial e Sócio-Economia Rural (DETAISER). A área útil do experimento compreendeu cerca de 1.057 m<sup>2</sup> ou 0,1057 ha. O solo predominante no local é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro (EMBRAPA, 2018).

As culturas intercalares foram plantadas nas entrelinhas das soqueiras da cana-de-açúcar (variedade RB 867515), logo após o corte da cana-planta. O delineamento estatístico utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, contando com oito tratamentos e quatro repetições, totalizando 32 parcelas que se constituíram de quatro linhas com cana-soca com 5,0 m de comprimento e 4,80 m de largura, onde a cana-de-açúcar foi cultivada no chamado plantio abacaxi, que compreende sulcos duplos espaçados entre si por 0,70 m e um espaçamento de 1,70 m separando cada conjunto de sulcos duplos (PINAZZA *et al.*, 2008; RIPOLI; RIPOLI, 2009). As culturas intercalares avaliadas foram: milho (*Zea mays*, variedade BR 106), feijão (*Phaseolus vulgaris*, cultivar IAC Pérola) e mandioca (*Manihot esculenta*, variedade IAC 15). O consórcio foi realizado de acordo com os seguintes tratamentos: T1: sem cultura intercalar, apenas cana-soca (testemunha); T2: cana-soca e cultura intercalar de milho (cs + mi); T3: cana-soca e cultura intercalar de feijão (cs + fe); T4: cana-soca e cultura intercalar de mandioca (cs + ma); T5: cana-soca e cultura intercalar de milho e feijão (cs + mi + fe); T6: cana-soca e cultura intercalar de milho e mandioca (cs + mi + ma); T7: cana-soca e cultura intercalar de feijão e mandioca (cs + fe + ma); T8: cana-soca e cultura intercalar de milho, feijão e mandioca (cs + mi + fe + ma).

O milho foi semeado em duas linhas duplas por parcela, com espaçamento de 60 cm entre linhas, e o feijão, em duas linhas triplas por parcela, com espaçamento de 30 cm entre linhas. A mandioca foi plantada em linha única, no centro das entrelinhas de cana, adotando-se a densidade de uma maniva por metro linear. A emergência das sementes foi observada cerca de quatro dias após a semeadura, para o milho e para o feijão, enquanto a brotação das gemas da mandioca ocorreu por volta de 30 dias após o plantio. O desbaste manual das plântulas (feijão e milho) ocorreu cerca de 15 dias após a semeadura, sendo a densidade padronizada em sete plântulas por metro linear para o milho e dez plântulas por metro linear para o feijão. A colheita, também manual, foi realizada após 95 dias para o feijão e 115 dias para o milho. A mandioca foi colhida antecedendo o corte da cana-soca.

A condução do experimento constou de observações do desenvolvimento das culturas e, dentre outros fatores, da realização de capinas e aplicação de bioinsumos (super magro, ácido pirolenhoso e óleo de nim), conforme recomendações sugeridas por Penteado (2001). Por se tratar de um experimento desenvolvido sob manejo orgânico, todos os procedimentos referentes a condução sempre atenderam as especificações contidas na instrução normativa estabelecida pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), n. 46, de 06/10/2011, permitidas para o cultivo orgânico (BRASIL, 2011).

A produção de cada cultura foi pesada separadamente e convertida em kg/ha, a fim de se proceder às comparações entre os tratamentos. Para o milho, foi quantificado e pesado o número de espigas verdes visando seu consumo *in natura*;

para o feijão, foi feita a quantificação da produção de grãos, e para a mandioca, a produção de raízes. A amostragem de plantas para quantificação da biomassa residual foi realizada de acordo com recomendações sugeridas por Silva (2009). Para tanto foram coletadas amostras de todas as parcelas sendo que, para o milho, coletaram-se dois metros lineares duplos de plantas; para o feijão, dois metros lineares triplos, compreendendo a parte aérea (folhas e caule) e raízes; para a mandioca coletou-se dez metros lineares, compreendendo apenas a parte aérea.

A quantificação foi feita através da trituração, secagem e pesagem das amostras. Assim, uma vez obtido o peso seco, foi estimada a biomassa residual total/ha (kg/ha) que seria deixada sobre o solo com cana-soca. O cálculo da renda bruta obtida pelos tratamentos foi realizado tomando-se por base os preços de produtos orgânicos certificados, e multiplicando-os pelos valores correspondentes à produção de cada cultura (kg/ha). Os valores foram consultados no Sítio Yamaguishi Orgânicos, em Jaguariúna - SP, sendo para milho verde: três espigas (0,8 kg), R\$ 2,00; feijão: 1 kg, R\$ 3,40; mandioca: 1 kg, R\$ 2,50.

Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o programa estatístico (BRUGNARO, 2010).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a produtividade de milho, expressa em peso de espigas/ha, houve diferença ao nível de 5% de significância entre os tratamentos, no tratamento T2 (mi), de maior produtividade, diferindo estatisticamente de T8 (mi + fe + ma), mas mantendo-se igual a T5 (mi + fe) e T6 (mi + ma) os quais, por sua vez, não diferiram de T8. Os tratamentos T5 e T6 apresentaram valores semelhantes, pouco abaixo de T2. Contudo, em relação às condições do experimento, T2 se mostrou mais eficiente na produção em kg/ha; contrariamente, T8, apresentou a menor produtividade do milho em sistema de consórcio (Tabela 1).

Tratamentos	Produção		
	milho	n. de espigas	feijão
T2 (cana-soca + milho)	12.307,0 a	40.618,0 a	617,9 a
T5 (cana-soca + milho + feijão)	8.515,0 ab	35.723,0 ab	552,4 b
T6 (cana-soca + milho + mandioca)	8.237,5 ab	28.120,0 ab	397,1 c
T8 (cana-soca + milho + feijão + mandioca)	4.377,5 b	15.622,0 b	248,5 d
CV%	23,5	21,6	1,81

Tabela 1 – Resultados da produção de milho e número de espigas e, de feijão em kg/ha, obtidos em sistema de consórcio com cana-soca, de acordo com cada tratamento.

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Assim como nos resultados da produção em kg/ha, em número de espigas houve diferença ao nível de 5% de significância entre os tratamentos, sendo T2 (mi) estatisticamente igual a T5 (mi + fe) e T6 (mi + ma) e, estes, por sua vez, iguais a T8 (mi + fe + ma), que diferiu apenas de T2. A diferença entre T2 e T8 se mostrou mais acentuada, confirmando os dados de produção em kg/ha (Tabela 1).

No caso do feijão, houve diferença ao nível de 5% de significância, entre todos os tratamentos diferindo estatisticamente entre si. O plantio unicamente de feijão (T3) se mostrou mais vantajoso em relação à produtividade do que ele com as culturas de milho e de mandioca para as condições do experimento, mas a produção junto com mandioca (T7) também foi considerável (Tabela 1).

No caso da cultura da mandioca, embora apresentando produtividade de 1156,1 kg/ha referente ao tratamento T4 - cultura intercalar de mandioca), o alto coeficiente de variação obtido através da análise de variância (143,2%) demonstra pouca confiabilidade nesses resultados, não podendo-se tirar conclusões seguras a respeito. O que pode ser avaliado de uma maneira preliminar é que a produção de mandioca nesse experimento variou muito, e provavelmente esta cultura não será uma das mais recomendadas em sistema de consórcio com a cana-de-açúcar, o que pode estar relacionada a fatores de competição dos recursos disponíveis, como água, nutrientes e herbivoria de insetos.

Na avaliação de biomassa residual (Tabela 2), os tratamentos T6 (mi + ma) e T8 (mi + fe + ma), se mostraram superiores e estatisticamente iguais, tendo T6 apresentado melhores resultados, e mostrando-se mais vantajoso. Contudo, T8 não diferiu de T2 (mi), que por sua vez não diferiu de T5 (mi + fe).

<b>Tratamento</b>	<b>Produção</b>
T6 (cana-soca + milho + mandioca)	5.165,1 a
T8 (cana-soca + milho + feijão + mandioca)	4.205,3 ab
T2 (cana-soca + milho)	3.057,8 bc
T5 (cana-soca + milho + feijão)	2.238,0 cd
T7 (cana-soca + feijão + mandioca)	674,5 d
T4 (cana-soca + mandioca)	549,6 d
T3 (cana-soca + feijão)	506,2 d
CV%	34,7

Tabela 2 – Resultados da produção total de biomassa residual das culturas do milho, feijão e mandioca (em kg/ha), obtidos em sistema de consórcio com cana-soca, de acordo com cada tratamento.

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Os dados referentes à biomassa produzida, apenas ressaltam algumas vantagens da cobertura do solo por matéria seca, o que para um sistema orgânico se torna vantajoso, pois diminui gastos com a manutenção da fertilidade, pois, além de melhorar as propriedades do mesmo, garante a continuidade dos processos ecológicos onde o solo está envolvido.

Em termos de renda bruta de culturas consorciadas à cana-soca, houve diferença significativa entre os tratamentos T2 (mi), T5 (mi + fe) e T6 (mi + ma) em relação aos demais tratamentos (Tabela 3).

<b>Tratamento</b>	<b>Produção</b>
T 2 (cana-soca + milho)	26.808,0 a
T 5 (cana-soca + milho + feijão)	26.753,0 a
T 6 (cana-soca + milho + mandioca)	19.626,0 ab
T 8 (cana-soca + milho + feijão + mandioca)	12.957,0 bc
T 7 (cana-soca + feijão + mandioca)	5.719,8 cd
T 3 (cana-soca + feijão)	4.943,7 d
T 4 (cana-soca + mandioca)	2.890,1 d
CV%	23,1

Tabela 3 – Resultados da a renda bruta (R\$/ha), obtida pelas culturas do milho, feijão e mandioca, em sistema de consórcio com cana-soca, de acordo com cada tratamento.

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O milho é considerado a principal fonte energética alimentar do mundo. Sua importância vai desde alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O Brasil é classificado o terceiro maior produtor, ficando atrás dos Estados Unidos e da China, com uma produção em 2015/2016 de 959.78 milhões de toneladas (CONAB, 2016).

Os dados deste trabalho demonstram a viabilidade da produção de espigas verdes em sistema orgânico. A escolha da cultivar em cada sistema de produção depende do nível tecnológico do produtor, do destino da produção e da disponibilidade de sementes (SANTOS et al., 2015).

A cultivar BR 106 de *Z. mays* apresentou produtividade em número de espigas de 40.618,0 kg/ha. Os resultados obtidos foram superiores ao citado por Andrade Vieira et al. (2010) que obtiveram de 18400 a 36000 espigas ha<sup>-1</sup>. De acordo com Santos et al. (2015) a média de produtividade foi de 45000 espigas ha<sup>-1</sup>, sendo a cultivar 2B587 a mais produtiva em número de espigas totais e comerciais.

A produtividade dos tratamentos medida em kg/ha, em relação ao milho, atingiu a média de 12.307,0 kg/ha referente a T2 (mi). A menor produtividade foi de 4.377,5 kg/ha, referente a T8 (mi + fe + ma), onde se esperava obter os melhores resultados devido a diversidade de culturas. Cabe ressaltar que a produção de milho objetivou o consumo *in natura* das espigas (milho verde), aumentando o leque de opções do pequeno produtor, para obtenção de renda.

O milho pode ser comercializado na forma de espigas empalhadas em feiras livres, sacolões e quitandas e, espigas despalhadas e embaladas em filme plástico de PVC em supermercados. Sendo desejado o quanto maior o número de espigas totais e comerciais. Entretanto, a comercialização em mercado atacadista, as espigas empalhadas e ensacadas, a produtividade é medida pelos produtores em massa de espigas com palha (ALBUQUERQUE et al., 2008).

A produtividade em sistema orgânico foi superior ao obtido por Santos et al. (2015). Ao utilizar 30 t de esterco, 440 kg de termofosfato, 111 kg de sulfato de potássio ha<sup>-1</sup> e biofertilizante, os autores obtiveram produtividade média de 7399 kg espigas despalhadas ha<sup>-1</sup>. Guedes et al. (2010) estudando a cultivar AG1051 sob cultivo orgânico obtiveram a média de 39375 espigas ha<sup>-1</sup> utilizando 10 t de esterco ha<sup>-1</sup>. Segundo Oliveira et al. (2011) as diferenças na performance de cultivares de milho são comuns em regiões tropicais e em sistemas de produção com baixa ou alta entrada de insumos.

Já a produção de feijão, mesmo apresentando variações em sua produtividade, se obteve a média de 617,9 kg/ha referente a T3 (fe), não muito distante da média nacional safra de 2015/2016 de 664,4 kg/ha para a cultura solteira, classe comum (CONAB, 2016).

A produtividade de mandioca não se mostrou interessante em sistema

consorciado, para as condições do experimento, devido a sua produtividade baixa e muito variada.

A análise da produção no tratamento T2 (cana-soca + milho) proporcionou renda bruta R\$26.808,0 e no tratamento T5 (cana-soca + milho + feijão) o rendimento de R\$ 26.753,0. Não apresentaram diferenças com relação à rentabilidade. Esses resultados corroboram com as observações de Carvalho et al. (2017) avaliando a produção de milho verde o genótipo Viçosense em consórcio com feijão comum obteve produção equivalente a 19,58 t/ha com receita líquida de R\$ 12.730,43 e taxa de lucro de 261%. Ou seja, a produção de milho e feijão consorciados em soqueira de cana-de-açúcar resultou em maior produtividade e rentabilidade comparadas com o cultivo orgânico consorciando apenas milho e feijão.

Os maiores valores obtidos corresponderam ao consórcio com milho, assim, a renda obtida pode ser considerada satisfatória para um sistema orgânico de consorciação, pois o consumo *in natura* do milho, é muito apreciado regionalmente, além de possuir maior valor agregado por ser um produto orgânico. Além disso, a crescente demanda por produtos orgânicos pode ser explorada por pequenas propriedades, mesmo que os valores estejam sujeitos a alterações, produtos organicamente cultivados possuem um preço de venda maior, e também, em sua produção, os gastos com insumos são inferiores quando comparados a modelos convencionais.

Neste contexto, a agricultura familiar é conhecida por apresentar baixo nível tecnológico e aumentar a rentabilidade dos produtores, dessa forma, para a cultura do milho, o uso do consórcio é recomendado pelo maior retorno financeiro, principalmente para produção de espigas verdes.

## 4 | CONCLUSÃO

Em sistema de consorciação com cana-soca, o milho foi a cultura que se mostrou mais vantajosa, quando considerada a produção de milho para consumo verde *in natura*, tanto ela sozinha ou associada ao feijão. O consorciamento de cana-soca utilizando o feijão se colocou numa posição subsequente, enquanto que, sobre a mandioca, não podem ser tiradas conclusões seguras a respeito. Em relação à renda bruta obtida, a associação de cana-soca com o milho se mostrou mais lucrativa frente aos demais tratamentos.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.J.B.; VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D.; SOUZA FILHO, A.X.; FIORINI, I. V.A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 768-775, 2008.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRADE VIEIRA, M. et al. Cultivares de milho e população de plantas que afetam a produtividade de espigas verdes. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 81–86, 2010.

BRASIL. **Instrução normativa nº 46, de 06 de outubro de 2011**. Lei nº 10831, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 06, Outubro. 2011. Seção 1, p. 8.a

BRUGNARO, C. **Análise de variância e teste de Tukey**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/wp-content/uploads/2011/09/Tukey.xls>. Acesso em: 11 jun. 2010.

CARVALHO, I. D. E. DE et al. Viabilidade econômica do consórcio entre genótipos de milho com feijão comum na região da Zona da Mata alagoana. **Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 4, p. 177, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a Agropecuária. Volume 4: Safra 2016/2017**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em 21 de setembro de 2020.

DANTAS, R. DE A. et al. Produção de matéria seca e controle de plantas daninhas por leguminosas consorciadas com cana-de-açúcar em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 681–689, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

GUEDES, R. E. et al. Consórcios de caupi e milho em cultivo orgânico para produção de grãos e espigas verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 174–177, 2010.

LI, X.; MU, Y.; CHENG, Y.; LIU, X.; NIAN, H. Effects of intercropping sugarcane and soybean on growth, rhizosphere soil microbes, nitrogen and phosphorus availability. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.35, p.1113-1119, 2013. DOI: 10.1007/s11738-012-1148-y.

MARIANI, C. M.; HENKES, J. A. Agricultura Orgânica X Agricultura Convencional Soluções Para Minimizar O Uso De Insumos Industrializados. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 315, 2014.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. A agroecologia: Estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avancados**, v. 29, n. 83, p. 183–207, 2015.

OLIVEIRA, L. R.; MIRANDA, G. V.; DeLIMA, R. O.; SOUZA, L. V.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C. Combining ability of tropical maize cultivars in organic and conventional production systems. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 739-745, p. 739-745, 2011.

PENTEADO, S. R. **Agricultura orgânica**. Série Produtor Rural. Edição Especial. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação, 2001.

PINAZZA, A.H.; STOLF, R.; MARGARIDO, L.A.C; MACEDO, N. Sistema de produção de cana-de-açúcar e sulco duplo para viabilização da mecanização de culturas intercalares. **STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 27, p. 73-76, 2008.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Edição dos autores. Piracicaba, 2009. 333p.

SANTOS, M. A. et al. Desempenho agrônômico de milho consorciado com feijão-de-corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v. 10, n. 3, p. 201, 2016.

SANTOS, C. F. et al. Agroecology as a means of sustainability for family-based agriculture. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 33–52, 2014.

SANTOS, N. C. B. et al. Características agrônômicas e de desempenho produtivo de cultivares de milho-verde em sistema orgânico e convencional. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 36, n. 3, p. 1807–1822, 2015.

SILVA, F.C. da. (Org). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / Embrapa Solos, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 627p.

SOUZA, L. S. B. DE et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 715–721, 2011.

## DESENVOLVIMENTO DE UMA FORMULAÇÃO COSMÉTICA CONTENDO SUBSTÂNCIAS ATIVAS NATURAIS PARA O TRATAMENTO DE MELASMA

*Data de aceite: 01/12/2020*

*Data de submissão: 22/10/2020*

**Micaela dos Santos Fernandes Lima**

Universidade Cesumar – UNICESUMAR  
Maringá - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/9723039458321686>

**Ariana Ferrari**

Universidade Cesumar – UNICESUMAR  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/1718769915904474>

**Daniele Fernanda Felipe**

Universidade Cesumar – UNICESUMAR  
Maringá – Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/6602186701933916>

**RESUMO:** A produção de cosméticos sustentáveis faz parte de um nicho de mercado que está em constante crescimento, com alta demanda. O uso de substâncias ativas naturais em tais cosméticos pode ser uma alternativa para o tratamento de várias alterações estéticas, como para o tratamento de melasma. O objetivo do trabalho foi desenvolver um produto cosmético com ação despigmentante contendo as substâncias ativas naturais, tintura de romã, belides e arbutin, para o tratamento de manchas na pele como melasma. Foi escolhida a base cremosa para incorporação dos ativos, e em seguida foi realizado o controle de qualidade do creme desenvolvido, no qual foram analisados aspecto, viscosidade, cor, odor e verificação do pH. Posteriormente, o creme foi fracionado em

amostras de 30 g, as quais foram submetidas ao estudo de estabilidade acelerada, sendo armazenadas em estufa (40°C), sob refrigeração (5°C) e exposição à temperatura ambiente, no período de 90 dias, sendo avaliadas as mesmas características analisadas no controle de qualidade. Os resultados obtidos mostraram que as características aspecto, viscosidade, cor e odor não sofreram alterações em nenhuma das amostras, no entanto, houve mudança no pH das amostras. A menor variação de pH ocorreu na amostra armazenada sob refrigeração, a qual mesmo com a alteração, apresentou um pH adequado para aplicação na pele. Desta forma, foi verificado que a temperatura influencia na estabilidade da formulação, sendo recomendado o seu armazenamento sob refrigeração, para que o produto possa apresentar qualidade e estabilidade adequadas. O creme desenvolvido se destaca por apresentar apenas substâncias ativas naturais e poderá ser empregado em estudos clínicos para verificação da sua eficácia no tratamento de manchas cutâneas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agente despigmentante; Extratos vegetais; manchas cutâneas.

### DEVELOPMENT OF A COSMETIC FORMULATION CONTAINING NATURAL ACTIVE SUBSTANCES FOR THE TREATMENT OF MELASM

**ABSTRACT:** The production of sustainable cosmetics is part of a market niche that is constantly growing, with high demand. The use of natural active substances in such cosmetics can be an alternative for the treatment of various aesthetic changes, such as for the treatment of

spots on the skin. The objective of the work was to develop a cosmetic product with a depigmenting action containing as natural active substances, pomegranate tincture, belides and arbutin, for the treatment of spots on the skin as melasm. A creamy base was chosen to incorporate the active substances, and then the quality control of the developed cream was carried out, in which aspect, viscosity, color, odor and pH were analyzed. Subsequently, the cream was fractionated in 30 g, as which were submitted to the accelerated stability study, being stored in an oven (40°C), under refrigeration (5°C) and exposure to room temperature, in the period of 90 days, being evaluated as same characteristics analyzed in quality control. The results showed that the aspect, viscosity, color and odor did not change in any of the samples, however, there was change in the pH of the samples. The smallest pH variation occurred in the sample stored under refrigeration, which even with the change, presented an adequate pH for application to the skin. Thus, it was verified that the temperature influences the stability of the formulation, being recommended its storage under refrigeration, so that the product can present adequate quality and stability. The developed cream stands out for having only natural active substances and can be used in clinical studies to verify its effectiveness in the treatment of spots on the skin.

**KEYWORDS:** Depigmenting agent; plant extracts; spots on the skin.

## 1 | INTRODUÇÃO

Tratamentos usando recursos naturais, vem sendo estudados como possibilidades terapêuticas para tratamentos de alterações cutâneas e as plantas medicinais sempre foram muito pesquisadas e empregadas para este fim o que acontece ainda nos dias atuais. A procura por uma vida mais sustentável, o chamado consumidor “verde” ou ecológico, interfere no comportamento dos consumidores e empresários, conduzindo a novos rumos na área cosmética, o desenvolvimento de matérias-primas e produtos mais naturais voltados a um consumo mais sustentável (WEISS; HAMAD; FRANÇA, 2011).

Na produção de cosméticos, utiliza-se matéria-prima oriunda da fauna e flora. Muitas empresas que têm como filosofia serem ambientalmente corretas, começaram a compreender que, a economia extrativa, baseada na coleta de plantas medicinais, aromáticas, frutas, entre outros, deve ter um suprimento racional, sustentável e controlado. Com escassez dos produtos e altos preços, ocorreu um estímulo aos plantios dessas espécies, que tendem a ser desenvolvidos fora da área de ocorrência do extrativismo (HOMMA, 2008).

O tratamento com ativos naturais pode ser considerado uma alternativa no tratamento de manchas como melasma (MOREIRA et al., 2010). Melasma é uma hipermelanose cutânea caracterizada pela presença de máculas irregulares e simétricas hiperpigmentadas que surgem em regiões expostas, predominando a face. O fator desencadeante mais importante é a exposição aos raios solares, o

que pode provocar exarcebação da hiperpigmentação, apresentando outros fatores como a gravidez, hormônios contraceptivos e certas drogas antiepiléticas (AYRES et al., 2016; HANDEL, 2014; LYON; SILVA, 2015; WOLF; JOHNSON; SAAVEDRA, 2015). No Brasil, constitui a terceira causa de doenças dermatológicas, e geralmente, se manifesta em pacientes na idade fértil (D'ELIA, 2015; RODRIGUES, 2016).

Um ativo despigmentante farmacêutico ou cosmético pode atuar em várias áreas. Um destes ativos é a hidroquinona, com propriedade clareadora, ainda considerado um tratamento padrão que obtém resultados significativos, no entanto, apresenta vários efeitos adversos, como, ressecamento da pele, fotossensibilidade, ocronose, vermelhidão, dermatite, hipopigmentação, a hiperpigmentação pós-inflamatória, e atrofia epidérmica. Possui citotoxicidade relacionada à inibição da síntese de DNA e RNA e alteração na formação do melanossoma e supressão metabólica do melanócito (AYRES et al., 2016; LYON; SILVA, 2015; RIBEIRO, 2010).

O tratamento com ativos naturais pode ser considerado uma alternativa em casos de contraindicação ao uso da hidroquinona e gestantes, pois apresentam menos efeitos adversos (MOREIRA et al., 2010). Dentre estes ativos, pode-se citar a tintura de Romã, Belides e Arbutin. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de uma formulação cosmética contendo ativos naturais para o tratamento do melasma, para reduzir os efeitos adversos que podem ser provocados pelos ativos tradicionais, como a hidroquinona.

Considerando a alta incidência de manchas do tipo melasma e a busca por formulações a base de ativos naturais, devido aos efeitos adversos de ativos tradicionais como a hidroquinona, justifica-se o desenvolvimento de uma formulação cosmética com ativos naturais para o tratamento do melasma, a qual seja eficaz, de qualidade e, sobretudo que acarretem poucos ou até mesmo nenhum efeito adverso e que possa se estabelecer como alternativa ao tratamento padrão. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um produto cosmético com ação despigmentante contendo substâncias ativas naturais para o tratamento de melasma.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a manipulação da formulação cosmética despigmentante, primeiramente foi escolhida e preparada à base cremosa do tipo não-iônica, a qual foi feita em duas fases (fase 1 oleosa, fase 2 aquosa). A fase 1 apresentou os seguintes componentes e as respectivas concentrações: álcool cetosteárico 30:70 (5 g), monoestearato de glicerila (4 g), álcool cetosteárico 20 OE (2 g), estearato de octila (4 mL), óleo mineral (4 mL), propilparabeno (0,1 g), os quais foram aquecidos em banho-maria, até 70 - 75°C.

A fase 2, foi constituída dos seguintes componentes e as respectivas

concentrações: propilenoglicol (4 mL), metilparabeno (0,1 g), EDTA dissódico (0,1 g), metabissulfito de sódio (0,6 g) e água destilada q.s.p 100 mL. Estes componentes foram aquecidos até 75 - 80 °C em banho-maria. Após a fase 2 (aquosa) foi adicionada sobre a fase 1 (oleosa), sob agitação vigorosa e constante. A agitação foi mantida até atingir a consistência adequada.

Em seguida foram adicionados na base os seguintes ativos e suas respectivas concentrações: tintura de romã (5%), belides (5%) arbutin (2%). Para incorporação do arbutin, na forma em pó, foi necessário a sua solubilização em 7 mL de propilenoglicol sob aquecimento até 50 °C. Os ativos belides e tintura de romã apresentam-se na forma líquida e foi realizada simples incorporação ao creme.

Após foi realizado o controle de qualidade do creme despigmentante desenvolvido, sendo feito os seguintes testes: características organolépticas (aspecto, cor, odor), viscosidade e verificação do pH em phmetro (BEL®) de uma amostra do creme diluído à 10% em água.

Foi realizado também o teste de estabilidade acelerada do creme desenvolvido, onde a periodicidade de avaliação das amostras foi da seguinte maneira: inicialmente no tempo zero, 24 horas e ao 7º, 15º, 30º, 60º e 90º dias. Para tal, o creme foi fracionado em amostras de 30 g e acondicionado em frascos plásticos com tampa, as quais foram armazenadas em estufa (40°C), sob refrigeração (5°C) e exposição à temperatura ambiente, sendo avaliadas as mesmas características analisadas no controle de qualidade.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento do produto foi escolhida a base cremosa não iônica que emprega na sua composição matérias-primas como álcool cetosteárilico 30:70, álcool cetosteárilico 20 OE e monoestearato de glicerila que possuem propriedades emulsificante e emoliente (VIA FARMA, 2017; ALLEN JR; ANSEL; POPOVICH, 2013). Estearato de octila é um emoliente não-comedogênico (EMFAL, 2017). Óleo mineral e propilenoglicol são utilizados como hidratantes. Os ativos hidratantes agem por umectação (propilenoglicol) e oclusão (óleo mineral) que são responsáveis por diminuir a perda transepidermal de água. O propilenoglicol é utilizado também como solvente (ALLEN JR; ANSEL; POPOVICH, 2013; MATOS, 2014; RIBEIRO, 2010). Metilparabeno e propilparabeno são conservantes antimicrobianos que atuam na prevenção de crescimento de microrganismos. Metabissulfito de sódio e EDTA dissódico têm ação antioxidante prevenindo a deterioração por oxidação, já que um dos ativos utilizado apresenta fácil oxidação (MAPRIC, 2017; ALLEN JR; ANSEL; POPOVICH, 2013).

Um dos ativos de escolha para a formulação foi a tintura de Romã, também

chamado de pomegranate, rico em ácido elágico que atua potencializando o efeito da glutatona, um antioxidante produzido pelo organismo que possui ação sobre as células protegendo-as da ação dos raios solares, além de inibir a proliferação dos melanócitos. O ácido elágico atua no combate aos radicais livres, responsáveis pelo envelhecimento precoce (MILREU, 2012; NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2016; SANTOS, 2017). Outro ativo empregado foi o ativo natural Belides, que é um ingrediente obtido das flores de *Bellis perennis*, rico em moléculas bioativas com capacidade de inibição da melanogênese, atuando em praticamente todas as etapas de síntese de melanina (COSTA et al., 2010; PHARMAESPECIAL, 2017).

Já o ativo utilizado denominado Arbutin é derivado da hidroquinona ligado à glicose (hidroquinona-beta-D-glicopiranosídeo), originado da extração das folhas de uva ursina (*Arctostaphylos uva ursi*). Das folhas é extraída a metilbutina que possui propriedade clareadora. O Arbutin age inibindo a tirosinase melanossômica e diminuindo a síntese de melanina. Devido à propensão do arbutin em sofrer oxidação se fez necessário à utilização de dois antioxidantes, o metabissulfito de sódio e EDTA dissódico (LYON; SILVA 2015; MOREIRA et al., 2010; RIBEIRO, 2010).

Quanto ao controle de qualidade do creme desenvolvido, os resultados obtidos mostraram que o aspecto foi adequado sem presença de grumos, a coloração foi na tonalidade amarelo claro, o odor foi característico dos ativos Belides e Romã e a viscosidade foi elevada, além do pH ter sido adequado com valor de 5,58.

O teste de estabilidade acelerada é um estudo preditivo empregado com o objetivo de auxiliar na determinação da estabilidade do produto bem como estimar um prazo de validade. A confirmação do prazo de validade se dá por meio do teste de estabilidade de longa duração, onde as amostras continuam sendo analisadas dentro do estudo de estabilidade até que se expire o prazo de validade (ANVISA, 2004).

No teste de estabilidade acelerada do produto desenvolvido, as características analisadas no controle de qualidade foram mantidas para as três condições de armazenamento. No entanto, considerando a análise de pH do período de 24 horas ao 90° dia foi observado uma diminuição como demonstrado na tabela 1, sendo que a amostra armazenada sob refrigeração foi a que apresentou menor variação, e com valor ainda adequado para aplicação na pele, o qual é entre 4,6 – 5,8 (CAMPOS; GASPAR; LEONARDI, 2002). Desta forma, foi verificado que a temperatura influenciou na estabilidade da formulação, sendo recomendado o seu armazenamento sob refrigeração.

Tempo \ Temperatura	Sob Refrigeração (5°C)	Estufa (40°C)	Temperatura Ambiente
24 horas	5,43	5,25	5,16
7º dia	5,27	4,90	4,77
15º dia	5,03	4,76	4,73
30º dia	4,99	4,66	4,44
60º dia	4,83	4,42	4,10
90º dia	4,89	4,55	4,69

TABELA 1. Valores de pH das diferentes amostras analisadas no período de 90 dias.

## 4 | CONCLUSÃO

Atualmente, é elevada a procura por cosméticos contendo substâncias ativas naturais, principalmente pela menor incidência de efeitos colaterais, podendo o creme despigmentante desenvolvido ser uma alternativa para o tratamento de manchas cutâneas como melasma. Para o creme despigmentante desenvolvido, recomenda-se o seu armazenamento sob refrigeração, para que o produto possa apresentar qualidade e estabilidade adequadas. O creme desenvolvido poderá ser empregado posteriormente em estudos clínicos para verificação da sua eficácia no tratamento de melasma.

## REFERÊNCIAS

ALLEN JR., Loyd V.; POPOVICH, Nicholas G.; ANSEL, Howard C. **Formas farmacêuticas e sistemas de liberação de fármacos**. 9 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de estabilidade de produtos cosméticos**. v.1. Brasília, 2004.

AYRES, Eloisa Leis; COSTA, Adilson; JORGE, Adriana Chaib Ferreira; JUNIOR, José Euzébio Gonçalves; SZRAJBMAN, Miriam; SANT'ANNA, Beatriz. Estudo monocêntrico, prospectivo para avaliar a eficácia e a tolerabilidade de formulação cosmeceutica em pacientes com melasma. **Surg Cosmet Dermatol**, Rio de Janeiro, v.8, n.3, p.232-240, 2016.

COSTA, Adilson; MOISÉS, Thaís Abdalla; CORDERO, Tatiana; ALVES, Caroline Romanelli Tiburcio; MARMIRORI, Juliana. Associação de emblica, licorice e belides como alternativa a hidroquinona no tratamento clínico do melasma. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, São Paulo, v.85, n.5, p.613-620, 2010.

D'ELIA, Maria Paula Barbieri. **Avaliação comparativa da ancestralidade em mulheres com melasma facial: um estudo transversal**. 2015. 106f. Dissertação (Mestre em Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. 2015.

EMFAL. **Informativo técnico do estearato de octila**. Disponível em: <[http://emfal.com.br/alcool/\\_ArquivoProdutos/60644.PDF](http://emfal.com.br/alcool/_ArquivoProdutos/60644.PDF)>. Acesso em: 28 de julho 2017.

HANDEL, Ana Carolina. **Fatores de risco para melasma facial em mulheres: um estudo caso-controlé.** 2013. 100f. Dissertação (Mestre em Patologia) - Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. 2013.

HOMMA, A. K. O. Extrativismo, biodiversidade e biopirataria na Amazônia. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, 2008.

LEONARDI, Gislaine Ricci; GASPAS, Lorena Rigo; CAMPOS, Patrícia M. B. G. Maia. Estudo da variação do pH da pele humana exposta à formulação cosmética acrescida ou não das vitaminas A, E ou de ceramida, por metodologia não invasiva. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, Rio de Janeiro, v.77, n.5, p.563-569, 2002.

LYON, Sandra; SILVA, Rozana Castorina da. **Dermatologia Estética: medicina e cirurgia estética.** 1 ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2015.

MAPRIC. **Informativo técnico do metabissulfito de sódio.** Disponível em: <[http://www.mapric.com.br/anexos/Boletim175\\_02122011-16h04.pdf](http://www.mapric.com.br/anexos/Boletim175_02122011-16h04.pdf)>. Acesso em: 28 de julho 2017.

MATOS, Simone Pires de. **Cosmetologia aplicada.** 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

MILREU, Poliana Galindo de Almeida. **Cosmetologia.** 1 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

MOREIRA, Andréia Mateus; BRAVO, Bruna Souza Felix; AMORIM, Adriana Gutstein da Fonseca; LUIZ, Ronir Raggio; ISSA, Maria Claudia Almeida. Estudo duplo cego comparativo entre hidroquinona e extrato de uva-ursina no tratamento do melasma. **Surg Cosmet Dermatol**, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.99-104, 2010.

NASCIMENTO JÚNIOR, B.J. et al. Estudo da ação da romã (*Punica granatum* L.) na cicatrização de úlceras induzidas por queimadura em dorso de língua de ratos Wistar (*Rattus norvegicus*). **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v.18, n.2, p.423-432, 2016.

PHARMASPECIAL. **Informativo técnico do belides.** Disponível em: <[http://www.pharmaspecial.com.br/media/produtos/6\\_lit\\_belides.pdf](http://www.pharmaspecial.com.br/media/produtos/6_lit_belides.pdf)>. Acesso em: 05 de maio 2017.

RIBEIRO, Claudio. **Cosmetologia aplicada a dermoestética.** 2 ed. São Paulo: Pharmabooks, 2010.

RODRIGUES, Bruna. **Estudo comparativo do tratamento da hiperpigmentação utilizando ativos cosméticos e eletroterapia.** 2016. 46f. Trabalho de conclusão (Tecnóloga em Estética e Cosmética) - Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul. 2016.

SANTOS, Livia Gonçalves dos; ROCHA, Marcia Santos da. O uso de antioxidantes orais na fotoproteção. **Revista Oswaldo Cruz.** Disponível em: <[http://www.revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_11\\_Santos\\_Livia\\_Goncalves.pdf](http://www.revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_11_Santos_Livia_Goncalves.pdf)>. Acesso em: 05 de maio 2017

VIA FARMA. **Informativo técnico do álcool cetosteárilico 30:70.** Disponível em: <<http://viafarmanet.com.br/wp-content/uploads/2015/07/--LCOOL-CETOESTEAR--LICO-30-70.pdf>>. Acesso em: 28 de julho 2017.

WEISS, Cristiani; HAMAD, Felistin; FRANÇA, Ana Júlia Von Borell Du Vernay. **Produtos cosméticos orgânicos: definições e conceitos**, 2011. Disponível em: <<http://siaibib01.univali.br/pdf/Cristiani%20Weiss,%20Felistin%20Hamad.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2017

WOLF, Klaus; JOHNSON, Richard A.; SAAVEDRA, Arturo P. **Dermatologia de Fitzpatrick**. 7 ed. Rio de Janeiro: AMG, 2015.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**MARIA ELANNY DAMASCENO SILVA** - Mestre em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira - UNILAB, ex-bolsista de pesquisa CAPES e integrante do grupo GEPEMA/UNILAB. Especialista na área de Gestão Financeira, Controladoria e Auditoria pelo Centro Universitário Católica de Quixadá - UniCatólica (2016). Tecnóloga em Agronegócio pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE (2014). Foi estagiária no escritório Regional do SEBRAE-Quixadá/CE entre os anos de 2012 a 2014. Atuou como bolsista técnica e voluntária de pesquisas durante a graduação em Agronegócios. Tem experiência nas áreas de ciências ambientais, ciências agrárias, ciências sociais e recursos naturais com ênfase em gestão do agronegócio, desenvolvimento rural, contabilidade de custos, políticas públicas hídricas, tecnologias sociais, sociobiodiversidade e educação ambiental. Além disso, faz parte da Comissão Técnica-Científica da Atena Editora. Possui publicações interdisciplinares envolvendo tecnologias sociais para o campo, cultura, ensino-aprendizagem, contabilidade rural, poluição e legislação ambiental.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ação despigmentante 170, 172

Água tratada 139, 140

Alimentação do gado 149, 154, 157

### B

Baixas temperaturas 81

Biomassa residual 159, 163, 164, 165

### C

Cadeia de soluções 95

Certificações de eficiência energética 27, 28, 31

Coletores solares evacuados 81

Companhia Energética de São Paulo 66, 67, 68, 69, 70

Compensação em créditos 41, 45, 47

Contaminação de rios 114

Corpos d'água 107, 124, 126, 127, 130, 133

Cosméticos sustentáveis 170

Crescimento populacional 114, 116, 126, 127

### D

Desenvolvimento econômico 16, 20, 24, 95, 96, 100

Destinação do lodo 139

### E

Edificações 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 67, 112

Eficiência energética 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 66, 68, 69

Estabelecimentos comerciais 103

Estações de tratamento de água 139, 147

### G

Gestão de resíduos 95, 101, 114, 124

Gramínea Brachiaria 149, 154, 155

## I

Impacto de mudanças 41, 43, 49

Instrumento de indução 16

Interdisciplinar 16, 23, 125

## L

Laboratório de gastronomia 115, 117

Legislação 24, 27, 95, 130, 178

Locais inapropriados 103

## M

Mensuração 118, 149, 152, 153

Metrópoles 2, 14, 139

Monocultivo 159

## O

Óleo residual de fritura 103, 106, 108, 111

## P

Parâmetros físico-químicos 126, 131, 134

Plantio consorciado 159, 160

Plataforma PSCAD/EMTDC 52

Política nacional de resíduos sólidos 95, 96, 101, 141, 144, 147

Política pública 103

Problemas ambientais 126, 127

Produção de pastagem 149, 152, 157

## R

Racionalização 27, 123

Reforma tributária 16, 22

## S

Saunas úmidas 82

Sistema fotovoltaico trifásico 52

Sistema solar 80, 82, 85, 90

Software 79

Software PVSYST 52

Software @Risk 41

Substâncias ativas naturais 170, 172, 175

## T

Técnicas de cultivo 159

Tecnologia PEM 66

Testes de controle 67

Transbordo de esgoto 114

Tratamento de manchas na pele 170

Tributação ambiental 16, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26

## V

Variáveis independentes 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

# Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

---

[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) 

# Subtemas e Enfoques na Sustentabilidade 2

---

[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) 