



Energias renováveis e valorização de resíduos: O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

Edilene Dias Santos
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022



Energias renováveis e
valorização de resíduos:

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

Edilene Dias Santos
Francisco Oricello da Silva Brindeiro
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

2022 by Editora e-Publicar
Copyright © Editora e-Publicar
Copyright do Texto © 2022 Os autores
Copyright da Edição © 2022 Editora e-Publicar
Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar
pelos autores

Editora Chefe
Patrícia Gonçalves de Freitas
Editor
Roger Goulart Mello
Diagramação
Roger Goulart Mello
Projeto gráfico e Edição de Arte
Patrícia Gonçalves de Freitas
Revisão
Os autores

ENERGIAS RENOVÁVEIS E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS: O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE, VOLUME 1.

Todo o conteúdo dos capítulos, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina
Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense
Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia
Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais
Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina
Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes
Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco
Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará
Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense
Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz
Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro



2022

Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rita Rodrigues de Souza - Universidade Estadual Paulista
Rodrigo Lema Del Rio Martins - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

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

E56 Energias renováveis e valorização de resíduos [livro eletrônico] : o caminho para a sustentabilidade: volume 1 / Organizadores Edilene Dias Santos, Francisco Oricelio da Silva Brindeiro, Roger Goulart Mello. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5364-063-4

1. Energias renováveis. 2. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade.
I. Santos, Edilene Dias. II. Brindeiro, Francisco Oricelio da Silva.
III. Mello, Roger Goulart.

CDD 333.72

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora e-Publicar

Rio de Janeiro, Brasil

contato@editorapublicar.com.br

www.editorapublicar.com.br



2022

Apresentação

É com grande satisfação que a Editora e-Publicar vem apresentar a obra intitulada "Energias renováveis e valorização de resíduos: o caminho para a sustentabilidade, Volume 1". Neste livro engajados pesquisadores contribuíram com suas pesquisas. Esta obra é composta por capítulos que abordam múltiplos temas da área.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Editora e-Publicar

Sumário

| | |
|--|--|
| CAPÍTULO 1 | 11 |
| CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE LODOS GALVÂNICOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA | 11 |
| | Tatiane Ribas Moreira Armando Hirohumi Tanimoto Ana Luísa Costa de Carvalho |
| CAPÍTULO 2 | 24 |
| ANÁLISE DO MERCADO LIVRE PARA A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E SUA APLICAÇÃO PARA INSTITUIÇÕES FEDERAIS | 24 |
| | Vitoria Alice Jorge Lopes Ernando Ferreira Armando Hirohumi Tanimoto |
| CAPÍTULO 3 | 35 |
| AQUAPONIA: INTERDISCIPLINARIDADE EM ESCOLAS PÚBLICAS | 35 |
| | Daniel Vieira Sant'Anna Daniele de Fátima Fuganholi Abiuzzi Sant'Anna Fabiano da Silva Araujo Robson Galdino da Silva Miguel Abiuzzi Sant'Anna |
| CAPÍTULO 4 | 45 |
| ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: PERSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL | 45 |
| | Eliezio Nascimento Barboza Carlos chagas Brasil Alves Jeremias Antunes de Sousa Douglas Grzebieluka Josiane Manchur Polyanne Gomes de Brito Evangelista Valdemir Fonseca da Silva Jean Carlos Triches |
| CAPÍTULO 5 | 58 |
| ANÁLISE DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS EM RESERVATÓRIO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB..... | 58 |
| | Igo Marinho Serafim Borges Jasmyne Karla Vieira Souza Maciel Jéssica Araújo Silva Viviane Farias Silva |

| | |
|---|---|
| CAPÍTULO 6 | 73 |
| QUÍMICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL: PERCEPÇÕES DA POPULAÇÃO EM GERAL SOBRE O USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS | 73 |
| | Iuri Laurindo de Oliveira Gleydis Manalig Pereira Dantas José Carlos Oliveira Santos |
| CAPÍTULO 7 | 82 |
| REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE PESCA PARA SÍNTESE DE QUITOSANA COM USO DE METODOLOGIAS DIVERSAS E APLICAÇÃO DE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE | 82 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c202215577634 | Henrique Blank Ingrid Dutra de Ávila Adriane Röedel Hirdes Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos |
| CAPÍTULO 8 | 99 |
| ESTUDO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE) DE ESTABELECIMENTOS DE CONSERTO E COLETA EM ILHÉUS/BA | 99 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c202215588634 | Fernanda Nadier Cavalcanti Reis Paloma Santana Marinho Cerqueira Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves Peolla Paula Stein Tatiane Benvenuti Tácia Costa Veloso |
| CAPÍTULO 9 | 111 |
| RESÍDUO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ: REVISÃO DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES..... | 111 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c202215599634 | Amanda Rampelotto de Azevedo Mariana Vieira Coronas |
| CAPÍTULO 10 | 125 |
| FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO ESTADO DO MARANHÃO: OS EFEITOS GERADOS AO MEIO AMBIENTE..... | 125 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156010634 | Alinne Araújo Freire Danielle Andrea Pereira Cozzani Campos Jeovana Thaynara Oliveira Martins Márcia Cristine Santos Macedo Thiago Yuri Freire Ferreira Thiago Gomes Lisboa Alamgir Khan Raquel Maria Trindade Fernandes |

| | |
|---|---|
| CAPÍTULO 11 | 137 |
| ANÁLISE DE POSSÍVEIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA E SEUS PROCESSOS..... | 137 |
| | Agatha Harumi Alves da Costa Bruno Ken Iti Oki Rafael Ramos de Andrade |
| CAPÍTULO 12 | 157 |
| BIOCOMBUSTÍVEIS E SUSTENTABILIDADE: UTILIZAÇÃO DE <i>EICHORNIA CRASSIPES</i> COMO FONTE DE BIOMASSA | 157 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156112634 | Emanoel Hottes Sumaia Hottes André Marques dos Santos |
| CAPÍTULO 13 | 171 |
| ADSORÇÃO DE CORANTE REATIVO AZUL 19 EM SOLUÇÃO AQUOSA POR CARVÃO ATIVADO DERIVADO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR | 171 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156213634 | Guilherme Augusto Prado Duarte Fabiano Tomazini da Conceição Maria Lucia Pereira Antunes Rodrigo Braga Moruzzi |
| CAPÍTULO 14 | 180 |
| ANÁLISE DE ESTUDOS SOBRE A TEMÁTICA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL..... | 180 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156314634 | Ranniclebia Kelly Rodrigues Viana Fredson Pereira da Silva Patrícia Barbosa da Silva Andrea Almeida Cavalcante João César Abreu de Oliveira Filho Hilton Nobre da Costa Adalberto Gonzaga da Cruz Júnior Telma Gomes Ribeiro Alves |
| CAPÍTULO 15 | 197 |
| A LOGÍSTICA REVERSA COMO FERRAMENTA DE MARKETING: UM ESTUDO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS NAS ORGANIZAÇÕES ... | 197 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156415634 | Jainara Dias da Silva |
| CAPÍTULO 16 | 204 |
| OBTENÇÃO SUSTENTÁVEL DO BIODIESEL VIA ROTA ENZIMÁTICA..... | 204 |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156516634 | Jefferson Cleriston Barros dos Santos Lorena Armando da Silveira Izabela Ferreira de Moraes Gabriella Souza Cardoso Pamela Cunha Bortoluzzi Paulo Sérgio Sobral Júnior César de Almeida Rodrigues Cintia Cristina da Costa Freire |

| | | |
|---|-----|--|
| CAPÍTULO 17 | 223 | |
| PROJETOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ELÉTRICA | 223 | |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156617634 | | Paulo França Barbosa Neto Lucio Garcia Veraldo Junior Antônio Lopes Nogueira da Silva César Augusto Botura Giulliano Assis Sodero Boaventura |
| CAPÍTULO 18 | 234 | |
| ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE BIOHIDROGÊNIO ATRAVÉS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PRODUZIDOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL | 234 | |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156718634 | | Maele Costa dos Santos Willian César Nadaleti |
| CAPÍTULO 19 | 242 | |
| RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE MINEIROS (GO): FINANCEIRAMENTE VIÁVEL E AMBIENTALMENTE..... | 242 | |
| SUSTENTÁVEL | 242 | |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156819634 | | Wéric Silva Rezende Clarice Neffa Gobbi Cleber Vinicius Akita Vitorio Carlos Eduardo Silva Josimar Ribeiro De Almeida |
| CAPÍTULO 20 | 262 | |
| PANORAMA GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM 120 MUNICIPIOS DO MATO GROSSO | 262 | |
| | | Larissa Rodrigues Turini Victor Hugo Souza de Abreu Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima |
| CAPÍTULO 21 | 286 | |
| A QUEIMA DA PALHA DA CANA E OS RISCOS DA MODERNIZAÇÃO ECOLÓGICA: TENTATIVAS DE REGULAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO, PERÍODO DE 1980 A 2011 | 286 | |
| | | Rafael Aroni |
| CAPÍTULO 22 | 307 | |
| A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO PORTUÁRIO SUSTENTÁVEL PARA EXPORTAÇÃO DE GRANEL SÓLIDO AGRÍCOLA | 307 | |
| DOI: 10.47402/ed.ep.c2022156922634 | | Jonathan Dos Santos Passos Leandro Aguiar De Oliveira Ligiane Costa Silva |

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE LODOS GALVÂNICOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Tatiane Ribas Moreira
Armando Hirohumi Tanimoto
Ana Luísa Costa de Carvalho

RESUMO

A galvanoplastia é um processo eletroquímico utilizado no recobrimento metálico de objetos. Os efluentes galvânicos despertam preocupação devido a suas composições tóxicas com elevado potencial de poluição ambiental. Os dejetos líquidos da galvanoplastia geralmente são tratados na própria empresa, gerando um resíduo sólido, denominado de lodo galvânico. O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, baseado em publicações feitas nas principais bases de dados, tais como: Google Acadêmico, Periódicos CAPES, *Science Direct* e *Scielo*. Testes de lixiviação mostraram que lamas provenientes de processos de fosfatização podem ser enquadradas como resíduos não perigosos, enquanto que as lamas provenientes dos demais processos galvânicos, liberam elevada concentração de íons e metais pesados para o meio ambiente e são classificadas como resíduos perigosos. O descarte de resíduos tem se tornado cada vez mais problemático, tornando-se necessária a aplicação de ferramentas ambientais como a Produção mais Limpa e a economia circular. Estas podem ser empregadas nas indústrias galvânicas através da ampliação da vida útil dos banhos, reciclagem dos resíduos, redução no consumo de água e eliminação do uso de substâncias tóxicas. Além disso, investimentos em tecnologias de tratamento dos efluentes líquidos, como as resinas de trocas iônicas seletivas, podem aumentar o rendimento dos processos em até 95%. As formas mais usuais de disposição e tratamento do lodo galvânico são: Aterro industrial, incineração, plasma térmico, microencapsulamento e reciclagem. Destas, os aterros industriais são os mais empregados, devido ao seu baixo custo, gerando uma grande quantidade de passivo ambiental

PALAVRAS-CHAVE: Lodo galvânico, Galvanotécnicos, Produção Mais Limpa em galvanoplastia

INTRODUÇÃO

A galvanoplastia faz parte do processo de produção de diversas indústrias metal mecânicas, automobilísticas, de semijóias, eletroeletrônicas e mobiliárias (BARROS, 2016). Ela consiste na deposição de uma camada fina de metal sobre uma superfície, por meios químicos ou eletroquímicos (ALVES, 2014). Entretanto, as composições químicas comumente empregadas nos processos galvânicos são tóxicas e em certas ocasiões letais para os seres vivos (BARROS, 2016). Os banhos são compostos por sais de vários metais tais como: cobre, estanho, níquel, zinco, cromo hexavalente e podem conter cianeto (elemento altamente tóxico) (SIMAS, 2007). Dentre esses metais, há um grupo que são bioacumuláveis, ou seja, os

organismos não são capazes de eliminá-los. Estes são os denominados metais pesados e possuem um elevado potencial de poluição ambiental (BARROS, 2016). O excesso desses metais no organismo humano provoca alterações em órgãos do sistema cardiovascular, lesões no córtex e na capa granular do cérebro, e perda de coordenação dos movimentos (LEMOS, 2009). Além do processo de deposição metálica, as etapas de tratamento de superfície que precedem a deposição também utilizam soluções tóxicas que são descartadas após perder a sua eficiência. Assim, há um contínuo descarte de misturas líquido/ sólido resultante das etapas de lavagens das peças, equipamentos e pisos (ALVES, 2014).

O setor da galvanoplastia é um dos maiores geradores de efluentes, tanto em quantidade (são produzidos cerca de 150.000 a 200.000 toneladas por ano considerando apenas o estado São Paulo) como também em periculosidade (MATOS, 2011). O sistema de tratamento de efluentes da indústria galvânica gera um resíduo sólido denominado de lodo galvânico - LG. Sendo este um dos problemas que mais afeta essa atividade (ALVES, 2014).

Apesar da perigosa toxicidade dos efluentes galvânicos, o mesmo também apresenta potencial de exploração por possuir concentração elevada de metais em sua constituição, muitas vezes em concentração maior do que a encontrada nas jazidas de exploração (PINTO, 2012).

A problemática relacionada aos descartes de resíduos fez surgir um movimento crescente da Produção Mais Limpa – P+L e Economia Circular. Estas tendências buscam a aplicação de técnicas de minimização de resíduos, traz à tona o grande desperdício que tem sido e o descontrole nos pontos geradores de resíduos, bem como os custos com transportes, tratamentos e disposição final (BORGO, 2005).

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica de artigos científicos e dissertações nas principais bases de dados conforme a Tabela 1. O período dos artigos pesquisados foram trabalhos publicados nos últimos 20 anos. As palavras chaves mais usadas na busca foram: *Galvanic Sludge*, “*Galvanic Sludge*”, Lodo galvânico, “lodo galvânico”. Destes, foram estudados cerca de cinco dezenas de publicações, as quais foram obtidas através de filtros de acordo com a relevância e objetivos dessa pesquisa.

Tabela 1 - Resultado das buscas por palavras-chaves e base de dados.

| | <i>Galvanic Sludge</i> | <i>"Galvanic Sludge"</i> | Lodo galvânico | "lodo galvânico" |
|------------------|------------------------|--------------------------|----------------|------------------|
| Google Scholar | 7 760 | 1 410 | 1 410 | 334 |
| Periódicos Capes | 536 | 166 | 21 | 9 |
| Scielo | 6 | 0 | 2 | 2 |
| Science Direct | 1462 | 150 | 1 | 0 |

Fonte: Autoria própria.

As principais associações encontradas que tratam sobre o assunto através de publicações periódicas foram: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE e Associação Brasileira de Tratamento de Superfícies – ABTS.

Levantou-se os requisitos legais e normas técnicas aplicáveis, sobre as tecnologias empregadas para tratamento dos lodos galvânicos, bem como as formas de disposição final adequadas, considerando-se aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

DESENVOLVIMENTO

A galvanoplastia é um termo genérico empregado para designar técnicas de deposição de finas camadas através de processos em meios químicos ou eletrolíticos, com o emprego de uma solução diluída do sal do metal correspondente (ALVES, 2014).

Os revestimentos metálicos despertam grandes interesses devido a diversidade de suas propriedades. Eles são aplicados para melhorar sua aparência, resistência à corrosão, resistência ao desgaste e fins decorativos (ALVES, 2014).

O zinco, prata, ouro, cádmio, cobre, cromo e níquel são os metais mais utilizados na galvanização, enquanto que o substrato pode ser composto por metais comuns e também por elementos não metálicos, como por exemplo, plásticos, desde que a superfície esteja devidamente tratada (PINTO, 2007).

ASPECTOS LEGAIS

Os resíduos sólidos (RS) são classificados de acordo com o seu risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente, sendo que este depende das suas características. Eles podem ser divididos nas seguintes classes:

- Classe I – Perigosos;
- Classe II – Não perigosos;
Resíduos classe II A – Não inertes.
Resíduos classe II B – Inertes.

Na classe I são classificados como perigosos os resíduos que apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde pública, por possuir características tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Na classe II A estão inseridos os resíduos que não apresentam nenhuma das características anteriores, mas que possuem propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Por fim, os inertes, na classe II B, são aqueles que ao serem submetidos aos testes de solubilidade, nenhum dos seus constituintes ultrapassam os limites estabelecidos pela norma NBR 10.004 (2004).

O transporte de resíduos perigoso deve seguir uma série de requisitos definidos pelas normas técnicas brasileiras. Neste caso, a principal norma aplicável é a Resolução N° 420, de 12/2/2004, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (FERREIRA, 2021).

O lodo galvânico é um resíduo sólido com alto teor de metais, e conseqüentemente é classificado como Resíduo Perigoso Classe I, segundo a NBR-10.004. Ele precisa ser transportado e transformado em material inerte para o descarte no meio ambiente.

Quanto a legislação sobre tratamento e disposição de resíduos sólidos Industriais no Brasil, pode-se mencionar a Resolução n° 313 (2002) CONAMA que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais e apresenta em seu anexo III os códigos para tratamento, reutilização, reciclagem e disposição final.

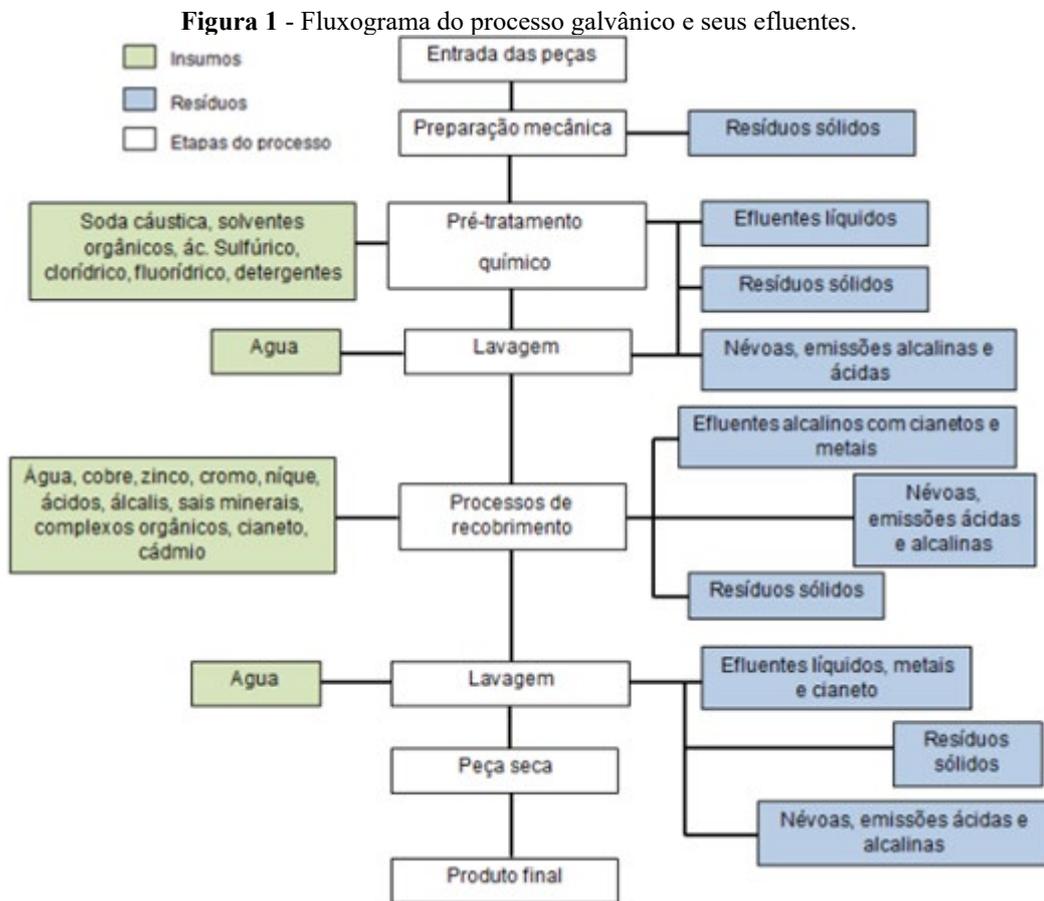
ETAPAS DA GALVANOPLASTIA

A técnica de galvanoplastia consiste em uma série de banhos realizados durante três etapas principais: pré-tratamento, galvanização e pós-tratamento.

- **Pré-tratamento:** Consiste na preparação da sua superfície, pois para um bom acabamento é necessário que a superfície esteja completamente limpa, livre de óxidos, gorduras, poeira metálica, tintas, graxas e incrustações (ALVES, 2014).
- **Galvanização:** Nessa etapa é realizada a deposição de camadas metálicas sobre a peça a ser galvanizada. Esta pode ser realizada através de 2 tipos de banhos: o eletrolítico no qual a deposição metálica é feita por intermédio da corrente elétrica (eletrodeposição) ou de imersão simples que não emprega o uso da eletricidade (ALVES, 2014).
- **Pós-tratamento:** Essa etapa é complementar e opcional e serve para aumentar a proteção contra a corrosão, proporcionando maior resistência mecânica às peças galvanizadas (BARROS, 2016). Ela consiste em operações de acabamento na peça, como por exemplo:

lavagens com água quente ou fria, secagem, banho de óleo, pintura ou envernizamento (ALVES, 2014)

O fluxograma (Figura 1) resume as principais etapas de galvanização e os seus efluentes que são gerados.



Fonte: Sgorlon (2014).

Na galvanoplastia, normalmente são utilizadas soluções ácidas, soluções alcalinas e sais de metais pesados. A água funciona como agente de limpeza das peças metálicas durante os processos no intuito de evitar a mistura de diferentes soluções químicas pelo efeito de arraste (BARROS, 2016).

Em todas as atividades descritas anteriormente ocorre uma grande emissão de poluentes para o meio ambiente. São gerados diversos efluentes constituídos dos derrames, respingos, arrastes dos tanques de lavagem das peças e banhos de deposição metálica, pelas purgas do lavador de gases e lavagens de equipamentos e pisos (ALVES, 2014).

Os gases gerados nos processos galvaníticos devem ser captados e encaminhados para um lavador de gases, onde serão devidamente dissolvidos e o pH ajustado para 7 (neutralizado),

para depois serem enviados para o sistema de tratamento de águas residuárias (CORTEZ, 2012). Na estação de tratamento de efluentes, os metais pesados, que preliminarmente já estão dissolvidos, são precipitados e depois extraídos a partir da decantação, sedimentação ou por filtração, gerando um material sólido denominado de lodo galvânico - LG (ALVES, 2014).

COMPOSIÇÕES DOS LODOS E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E TOXICOLÓGICA

Os lodos galvânicos têm a sua composição química e a sua cor definidas pela tecnologia aplicada e pela natureza da produção que lhe deu origem. Por isso, eles normalmente são coloridos e os seus pH podem atingir valores extremos quando não tratados (ALVES, 2014).

O LG é caracterizado como um material sólido, entretanto muitas vezes ele é encontrado no estado pastoso. Segundo Rocha et al. (2017, p.2) “o lodo galvânico contém em média 63% de água e em sua composição estão presentes compostos químicos em diferentes formas, como hidróxidos e sais dos metais, além de carbonatos e sulfatos devido ao processo de neutralização.”

A realização de análises físico-químicas do LG é muito importante para obter informações relacionadas à composição do mesmo, pois para realizar a identificação de uma tecnologia de tratamento e recuperação do lodo galvânico é essencial uma avaliação qualitativa e quantitativa deste resíduo.

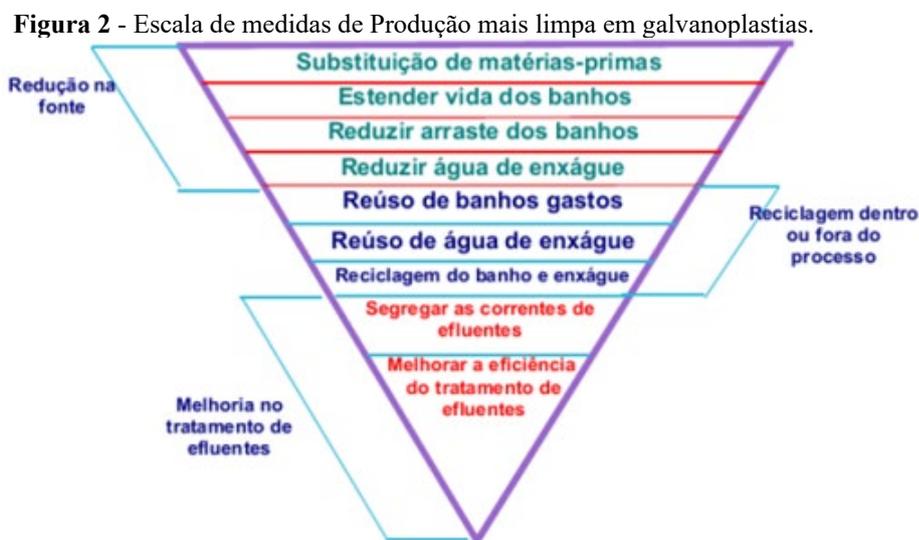
Ladeira (2008) realizou uma análise quantitativa dos lodos galvânicos, de algumas empresas situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, por Espectrometria de Absorção Atômica - EAA (técnica baseada na propriedade de absorção da luz por átomos livres) com a utilização de lamelas de diferentes processos de deposição.

Todas as lamelas de fosfatização, que foram analisadas, poderiam ser enquadradas como resíduos não perigosos (classe II). A reclassificação desses resíduos em não perigosos (classe II) está prevista na ABNT NBR10004/2004, desde que a empresa exiba um laudo analítico que confirme a inexistência de algumas substâncias nas concentrações que as classificariam o resíduo como perigoso (classe I). Enquanto que os demais resíduos analisados apresentaram elevadas concentrações de cromo e cádmio, sendo assim classificados como resíduos perigosos.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA

As tecnologias de Produção mais Limpa – P+L, podem ser empregadas nas indústrias galvânicas através do aumento da vida útil dos banhos, reciclagem dos resíduos, redução no

consumo de água e eliminação do uso de substâncias tóxicas como por exemplo o cianeto e o cromo hexavalente, diminuindo assim os impactos ambientais, custos com o pré-tratamento dos efluentes e o volume de LG produzido, referente a remoção dessas substâncias. A Figura 2 mostra as medidas de Produção mais Limpa por ordem de importância que podem ser utilizadas na galvanoplastia (FUKUI, 2014).



Fonte: Fukui (2014).

Como exemplo de reutilização dos resíduos para o próprio processo tem-se as resinas de trocas iônicas seletivas que são uma tecnologia para tratamento dos efluentes líquidos da galvanoplastia. Elas melhoram os resultados quando comparados aos processos físico-químicos tradicionais e tem o objetivo de capturar os metais. Estes resultam em matéria prima que pode ser reutilizada nos processo juntamente com a água tratada. O rendimento é de 95%, em média, usando essa tecnologia (ARAÚJO, 2019).

TRATAMENTOS, DISPOSIÇÃO FINAL E REAPROVEITAMENTO DO LODO GALVÂNICO

De acordo com a Lei Federal nº 9.605/1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais, o gerador deveria receber pesadas sanções pela disposição imprópria de seus resíduos. Por isto ele seria obrigado a dispor, tratar ou temporariamente estocar seus resíduos, até a destinação final eficiente.

Entretanto, nos estudos realizados por Mattos (2011) em 17 empresas de galvanoplastia na zona leste de São Paulo, foi observado que apenas 4 destas realizam a destinação adequada

dos seus resíduos, 9 desconheciam as formas corretas de destinação ou as fazem de maneira inadequada, enquanto que não possuíam nenhuma destinação para os seus resíduos.

Nas 17 empresas entrevistadas por Cortez (2012), também na zona leste de São Paulo, os resíduos sólidos eram armazenados de maneira indevida, sem seguir as normas de armazenamento de resíduos perigosos, na própria indústria até atingir um volume e tempo desejado, e depois removidos por empresas especializadas no seu tratamento, nenhuma das indústrias estudadas tinham conhecimento sobre o destino final dado aos resíduos e nem os tipos de processos empregados.

O tratamento correto dos efluentes industriais deve considerar a carga poluidora e presença de contaminantes. Segundo Ferreira (2021) os processos para disposição e tratamento dos lodos galvânicos podem ser estocagem, aterramento, incineração, processamento, plasma térmico, microencapsulamento e reciclagem, cuja breve explicação pode ser vista a seguir.

- **Estocagem:** Consiste no armazenamento dos resíduos, apesar de não ser uma forma de disposição propriamente dita, ela é admitida desde que as normas brasileiras referentes para o procedimento sejam atendidas. Esse método necessita de uma estrutura especial, paramentada com sistemas de segurança e monitoramento contínuo. Essa técnica é caracterizada por um aumento do passivo ambiental da empresa (MATTOS, 2011).

- **Aterro industrial:** É a destinação mais econômica para os resíduos industriais perigosos, ele é um dos métodos de disposição do lodo mais empregados. Caracteriza-se como uma abertura de valas no solo no qual o resíduo é depositado no fundo, compactado e posteriormente recoberto com terra (SIMAS, 2007).

- **Incineração:** Este é um processo de decomposição térmica que ocorre a uma temperatura acima de 1000 °C. Ele é aplicado para resíduos de alta periculosidade com o objetivo de diminuir o peso, volume e as características toxicológicas dos resíduos sólidos e ocorre em fornos nos quais pode-se tratar os rejeitos industriais, subprodutos e ainda produtos acabados que apresentem periculosidade conforme a Norma Brasileira 10004 (LEMOS, 2009).

- **Plasma térmico:** Esse é um dos processos para tratamento de resíduo que tem chamado atenção no mundo inteiro. Assim como a incineração, o plasma térmico também promove a destruição térmica dos resíduos sólidos, todavia com a utilização de um gás ionizante e reativo (plasma), de altíssima temperatura, que ao entrar em contato com o resíduo promove a sua decomposição (MATTOS, 2011).

- **Microencapsulamento:** É também conhecido pelos nomes: estabilização, solidificação, fixação ou inertização. Apesar desses termos serem empregados como sinônimos, estas são

técnicas que geralmente são empregadas em conjunto. Elas são caracterizadas pela imobilização ou estabilização dos resíduos perigosos através da transformação destes em materiais menos poluentes, devido a adição de aglomerantes ou processos físico-químicos (BARROS, 2016).

- **Reciclagem:** Essa técnica consiste na separação de espécies químicas, relacionando as estruturas química das substâncias com as suas propriedades físicas, através de transformações físico-químicas. Os metais podem ser reciclados através de técnicas de precipitação e separação, denominadas de hidrometalúrgicas, que possibilitam o isolamento dos metais do resíduo, transformando-os em sais com elevado teor de pureza (SIMAS,2007).

COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS DE TRATAMENTO, DISPOSIÇÃO FINAL E REAPROVEITAMENTO

Observou-se que a estocagem não é um tipo de destinação desejada ambientalmente, porque ela aumenta o passivo ambiental e necessita de um espaço físico que poderia ser utilizado no próprio processo produtivo da empresa. Além disso, ela é considerada uma disposição temporária e pode ser onerosa quando a geradora opta por enviar o LG para uma central de resíduos a qual cobra de acordo com a quantidade de lodo armazenado (MATTOS, 2011).

A destinação em aterro industrial é a alternativa mais econômica para disposição do LG e por isso a mais empregada (MATTOS, 2011). Entretanto ela não é ideal para o meio ambiente, visto que eleva o passivo ambiental gerado e requer muito controle, sobretudo do lençol freático em áreas próximas aos aterros. Assim, caso as empresas optem por enviar os seus resíduos para aterros, elas devem considerar o uso de boas tecnologias para impermeabilização do solo, adoção de técnicas de confinamento total do resíduo, drenagem do chorume e uma excelente estrutura de laboratório e controle (FERREIRA, 2021). Outra desvantagem dessa técnica é a limitação de área disponível para expansão ou abertura de novos aterros, restrições quanto a sua localização as emissões de gases, composições de chorume (ALVES, 2014).

A incineração e o plasma térmico são as formas de tratamentos que possuem os maiores custos, pois ambos envolvem um alto consumo de energia. As implementações desses processos exigem a utilização de equipamentos caros e um sistema de limpeza de gases em vários estágios. A incineração reduz o volume do lodo, sua instalação pode ser feita em locais próximos aos centros urbanos, diminuindo custos de coleta e transporte (ABRELPE, 2015). Entretanto a incineração não elimina os metais pesados, pois estes continuam presentes nas

cinzas e vapores, gerando poluição ambiental secundária (FERREIRA, 2021), por isso a sua aplicação pode ser impossibilitada do ponto de vista técnico quando o resíduo possui uma carga muito elevada de metais. Ademais, a inertização por plasma emprega tecnologia avançada. O plasma térmico promove a destruição térmica dos resíduos com a utilização de um gás ionizado, produzindo uma matriz vítrea que pode ser aproveitada como matéria-prima para a indústria de cerâmica, construção civil e siderúrgica (FERREIRA, 2021). Ela promove a redução, extremamente elevada, do volume do resíduo, podendo ser superiores 99% (SIMAS, 2007).

O microencapsulamento mostra-se como um tratamento adequado para os resíduos de lodo galvânico, visto que essa técnica estabiliza os metais pesados, reduzindo a lixiviabilidade e solubilidade dos contaminantes. Permitindo que o LG seja reutilizado como matéria-prima na fabricação de produtos manufaturados e fazendo com que este volte a cadeia produtiva. Além disso, diminui o impacto ambiental negativo causado pela deposição dos mesmos e é econômico quando comparado com outras técnicas (SGORLON, 2014). Sua maior desvantagem está relacionada a complexidade dos processos, sendo, no entanto, ainda necessária a realização de mais estudos de longo prazo quanto à capacidade de imobilização dos metais na matriz utilizada (MATTOS, 2011).

A reciclagem pode ser uma boa escolha para lodos que possuem em sua composição metais de alto valor de mercado tais como ouro, prata, níquel, entre outros. Mostra-se como uma das melhores alternativas do ponto de vista ambiental, pois se considera a reutilização dos metais pesados na forma de matéria-prima, que são comercializados a preço competitivos e atendem a quase todos os quesitos de sustentabilidade (MATTOS, 2011). Possibilitando a redução de materiais a serem coletados e dispostos, a geração de emprego e renda, e a preservação dos recursos naturais (metais extraídos) e insumos (ABRELPE, 2015). Porém esta técnica precisa de aperfeiçoamento e estudos quanto a sua viabilidade em escala industrial, e a reciclagem é inviável no tratamento de LG mistos, pois ela só é aplicável a apenas alguns componentes do lodo. Neste caso, seriam necessárias várias etapas, o que acarretaria na geração de novos efluentes líquidos e sólidos (SIMAS, 2007).

É importante considerar que as áreas para disposição de resíduos perigosos estão cada vez menos disponíveis e que os recursos naturais empregados como matéria prima, tais como os metais, estão cada vez mais escassos. Assim, as indústrias devem priorizar a eliminação, minimização, reaproveitamento e somente depois dessas etapas, soluções fim de tubo, como o aterro industrial, a incineração entre outros (BRASIL, 2006).

Uma alternativa para facilitar o tratamento dos resíduos galvânicos é a formação de um arranjo produtivo local – APL, junto as prefeituras municipais, formada pela união de indústrias locais e regularizadas, existentes na região, possibilitando ganhos inerentes à economia de aglomeração (simbiose industrial). Assim, estas empresas podem manter interação, cooperação e aprendizagem entre elas e com outros autores locais.

A aplicação da padronização do tratamento de lodo galvânico em larga escala necessitaria de confiabilidade na disponibilização dos resíduos, o que seria possível com a existência de estações de tratamento de águas residuárias galvânicas centralizadas de grande porte, facilitando a contratação de técnicos especializados e controle dos processos.

Além disso, permitiriam a segregação dos efluentes de acordo os processos empregados e a geração de lodos galvânicos com características de baixa variabilidade, tornando viável o investimento em seu aproveitamento, de modo que a reciclagem ou a inertização dos resíduos sólidos em processos de manufatura teriam um maior poder de negociação no mercado (CORTEZ, 2012).

CONCLUSÃO

Conclui-se que há necessidade de uma convergência para as empresas procurarem substituintes de substâncias perigosas, minimização da geração de efluentes líquidos, das emissões gasosas e resíduos sólidos tóxicos. Nesse contexto, podem ser aplicadas as medidas de Produção mais Limpa e Economia Circular, como por exemplo: redução no consumo de água e eliminação do uso de substâncias tóxicas tais como o cianeto e o cromo hexavalente, o aumento da vida útil dos banhos, reciclagem dos resíduos e investimentos em tecnologias de tratamento dos efluentes líquidos podem ser implantadas nas empresas desse setor com o objetivo de tornar os processos mais eficientes, melhorando a competitividade da empresa diminuindo os custos de produção, tratamento dos efluentes e impactos ambientais.

REFERÊNCIAS:

ALVES, Lucas Campaner; SEO, Emília Satoshi Miyamaru. **Caracterização do resíduo sólido proveniente do processo galvânico para valoração econômica ambiental**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, n. 4, p. 423-434, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000637>. Acesso em: 07 nov. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 10.004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2015. Disponível em: https://abrelpe.org.br/pdfs/publicacoes/estimativa_dos_custos.pdf. Acesso em: 21 out. 2021

ARAÚJO, P. de. Galvanoplastia (in) sustentável. **Revista Tratamento de Superfície**. São Paulo: ABTS, 216 ed, n. 1, p. 38-43, set 2019. Disponível em https://abts.org.br/images/img-publicacoes/tratamento_de_superficie-216/rt-216.pdf. Acesso em: 26 out. 2021.

BARROS, Sérgio Silveira de. **Galvanoplastia: controle ambiental no Brasil e na Alemanha, suas bases legais e tecnológicas**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2016. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/47883>. Acesso em: 07 nov. 2021.

BORGO, Simone Canfield. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. 2005. 141 f. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005 Disponível em: https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/104-Simone_Canfield_Borgo.pdf. Acesso em: 26 out.2021.

BRASIL. Lei nº 9.605, 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e da outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, p. 1, 13 fev. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: 26 out. 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 313, de 29 de outubro de 2002. **Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 07 set. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: https://www.anvisa.gov.br/servicos/audes/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

CORTEZ, Vinicius Dantas. **Caracterização de micro e pequenas indústrias de cromação do setor de galvanoplastia na zona leste do Município de São Paulo com ênfase no manejo de efluentes**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo -IPT, São Paulo, 2012. Disponível em: http://cassiopea.ipt.br/teses/2012_TA_Vinicius_Cortez.pdf. Acesso em: 06 nov. 2021.

FERREIRA, Neemias de Macedo; DOS SANTOS, Leandro Colevati; DA SILVA, Maria Lúcia Pereira. Stakeholders e o gerenciamento de coprodutos: logística reversa e simbiose industrial na redução de custos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/27429>. Acesso em: 26 out. 2021.

FUKUI, V. S.; Gouveia, J. L. N. Métodos e processos químicos ambientalmente mais limpos em galvanicas - revisão de literatura. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**, n. 2, São Paulo, 2014. Disponível em: https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Vivian%20Saory%20Fukui.pdf. Acesso em: 26 out. 2021.

LADEIRA, A. C. Q.; PEREIRA, D. B. A. Avaliação do potencial poluidor da indústria galvânica: caracterização, classificação e destinação de resíduos, v. 61, p. 385-390, 2008. **SciELO Brasil**, São Paulo, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672008000300018>. Acesso em: 06 nov. 2021.

LEMOS, Radamés Gonçalves de. **Viabilidade de reaproveitamento de lodo galvânico**. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2009. Disponível em: <http://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3330>. Acesso em: 06 nov.2021.

MATTOS, C. S. **Geração de resíduos sólidos de galvanoplastia em regiões densamente povoadas – avaliação, inertização e destinação**. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ciência na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisa Energética Nucleares, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-04082011-095306/pt-br.php>. Acesso em: 06 nov.2021.

PINTO, F. M. **Resíduo de lodo galvânico: caracterização, tratamento, recuperação e reuso**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/455>. Acesso em: 26 out. 2021.

PINTO, Joaquim Rafael; COSTA, Pedro Alexandre. **Relatório Tratamento e revestimento de metais: Niquelagem**. 74 f. Relatório. (Programa de Desenvolvimento Educativo Para Portugal) - Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2007. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/58369/1/000078458.pdf>. Acesso em: 26 out. 2021.

ROCHA, R. D. C.; ZOREL JR, H. E.; LANDO, T. Utilização de planejamento experimental no estudo para imobilização de lodo galvânico em cerâmica vermelha para minimização de impactos ambientais. Cerâmica. **SciELO Brasil**, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633651964>. Acesso em: 06 nov. 2021.

SGORLON, Juliana Guerra. **Utilização de resíduos da indústria galvanotécnica no desenvolvimento e fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada**. 206 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3690>. Acesso em: 26 out.2021.

SIMAS, Rui. **Levantamento da geração de resíduos galvânicos e minimização de efluentes contendo cianeto**. Universidade Federal do Paraná-UFPR. Curitiba-PR. 148 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/10938>. Acesso em: 26 out.2021.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DO MERCADO LIVRE PARA A ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E SUA APLICAÇÃO PARA INSTITUIÇÕES FEDERAIS

Vitoria Alice Jorge Lopes
Ernando Ferreira
Armando Hirohumi Tanimoto

RESUMO

Esta pesquisa científica teve como objetivo estudar o mercado livre da energia elétrica, ao passo que buscou analisar o processo de evolução da sua comercialização, compreender os aspectos jurídicos do ambiente de contratação livre (ACL), identificar exemplos de autarquias que realizaram a migração e se tornaram consumidores livres. Foi aplicado o método exploratório de documentos acadêmicos e instrumentos legais disponíveis em bases de dados de periódicos e repositórios acadêmicos. Contemplou-se a viabilidade econômica da migração, usando como referencial o campus Salvador do Instituto Federal da Bahia, no qual apresentou resultado aproximado de 25% de redução de custo após o quinto ano, com migração para o ACL.

PALAVRAS-CHAVE: Mercado Livre da Energia; Ambiente de Contratação Livre.

INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro da energia elétrica era modelado por empresas estatais, no entanto no final dos anos 90 surgiu a necessidade de ampliar o mercado e de incentivar a competitividade, devido ao aumento do consumo de energia que cresceu cerca de 49% e a capacidade instalada de geração teve aumento de apenas 35%, gerando um déficit entre demanda de consumo e capacidade de potência instalada (TOLMASQUIM, 2000). A criação da lei 9.074 de 1995 garantiu que o setor privado entrasse nesse mercado, surgindo o primeiro conceito de mercado livre de energia no Brasil (BRASIL, 1995).

Dessa forma abriu-se dois modelos de consumo, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), sendo que a primeira opção é adotada por todos os consumidores de energia elétrica, pessoas físicas e jurídicas. A segunda opção garante que a partir de uma determinada demanda contratada, atualmente acima de 500 kW, seja possível migrar para um modelo de mercado de curto prazo, no qual há negociação direta com o produtor, ou comercializador que faz a intermediação da compra da energia.

O consumidor do ACR tem como principal vantagem uma única fatura e uma variação de valor de acordo com a tarifa praticada regionalmente vigente no mês de consumo. Com relação ao consumidor ACL, pode-se destacar a possibilidade de escolha do produtor e a

negociação direta do preço pago, no entanto será enviada mais de uma fatura, necessitando de maior gestão sobre os gastos. Nesse modelo – ACL, não há impacto direto da bandeira tarifária, no entanto ao exceder a quantidade contratada com a geradora, os valores pagos serão superiores, limitados ao valor mínimo e máximo fixado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) do Preço das Liquidações das Diferenças (PDL), segundo decreto 5.163/04 (BRASIL, 2004a).

O modelo ACL vem sendo aprimorado no tempo. No início da criação desse mercado, consumidores com mais de 3 MW de demanda contratada estariam habilitados a migrar de mercado. A norma 465 de dezembro de 2019, estabelece um cronograma de que no ano de 2023 consumidores de 0,5 MW poderão entrar diretamente como consumidores livres. Atualmente os consumidores com essa mesma demanda podem ingressar no mercado livre, mas limitado ao consumo de fontes limpas, possuindo desconto de 50% a 100% na demanda. Com a mudança prevista na norma, será ampliado o mercado para compra de todos os geradores, sem limitação de tipos de fontes, tal como especificado na lei 9.074/1995 (BRASIL, 1995).

O campus Salvador tem demanda contratada de 0,45 MW e tem intenção de aumento para 0,6 MW, portanto atinge a quantidade mínima necessária para ingressar no mercado livre, sendo classificado como consumidor especial. Durante a pesquisa de instituições com o mesmo perfil do IFBA, que migraram para o ACL, identificou-se que há uma autarquia municipal, o Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (HC-FMRP) e uma federal, a Base Naval do Rio de Janeiro (BNRJ), sendo que a primeira passou pelo processo de migração para o mercado livre no ano de 2019 e a segunda no ano de 2020. Contudo é necessário conhecer o processo legal para essa migração e os principais motivos que tornam até o presente momento, a migração incomum por autarquias para esse modelo de contratação de energia que apresenta redução de custo de em média de 35%, segundo estimativa da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL, 2020).

METODOLOGIA

Através do método exploratório de documentos acadêmicos e instrumentos legais disponíveis em bases de dados de periódicos e repositórios acadêmicos, foi estudado de forma gradativa a formação do setor elétrico, enfatizando o mercado livre de energia, a fim de analisar a viabilidade econômica da migração do modelo ACR para ACL pela autarquia federal IFBA, campus Salvador.

OBJETIVO

Este trabalho teve o objetivo de analisar os requisitos do Mercado Livre da Energia e suas características para adesão de uma instituição federal de ensino, assim como o potencial de economia com esse novo formato de contratação da energia elétrica.

REFERENCIAL TEÓRICO

No período de 1930 a 1990, o setor elétrico tinha domínio estatal, através de monopólio e sem competitividade de preço. Esse modelo foi bem-sucedido, no entanto em meados de 1990 ocorreu uma crise no setor de energia, por conta do tipo de fonte prioritariamente investida, que foi a hidrelétrica, que não permite expansão rápida, e são impactadas pelas crises hídricas, gerando um déficit entre potência de geração e energia ofertada para consumo real da população.

A fim de evitar o colapso e o desabastecimento de energia, começou a ser trabalhado e legalizado a competitividade no setor elétrico, através da abertura para investimento de capital privado. Esse marco foi denominado de novo modelo do setor elétrico brasileiro, que tinha como principal intuito decidir a melhor forma de expansão e em que pontos o monopólio manteria o menor custo para o consumidor final, consagrado nos arts. 170 da Carta Magna (BRASIL, 1988).

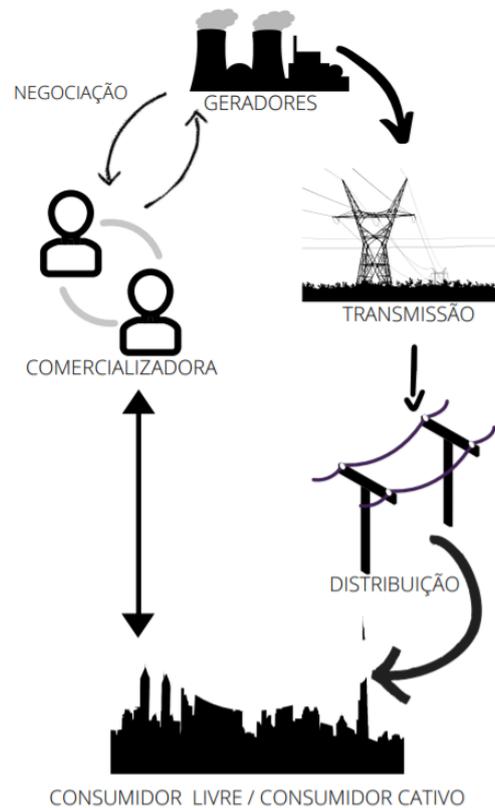
O setor elétrico foi dividido em três grupos até que a energia chegue para o consumo final, são esses: geração, transmissão e distribuição no mercado regulado conforme descrito a seguir:

- A geração, que é composta por geradoras de energia elétrica, constituídas por diversas fontes, por exemplo: eólica, solar, nuclear, hidrelétrica etc.
- A transmissão, que faz o transporte da energia em alta tensão e em grandes percursos, sendo também, responsável pela manutenção e construção dos meios de transporte da energia elétrica.
- A distribuição, que atua no transporte da energia elétrica direcionada ao consumidor final, logo é a responsável pela distribuição em residenciais rurais e urbanas, industriais etc.

Com a ampliação do mercado livre a estrutura ganhou mais um agente para o setor, denominado de comercializador, que é responsável por atuar na articulação entre cliente e operadores, não sendo essa uma função primordial para o mecanismo do setor, mas que agrega

na expansão do consumo livre da energia. A Fig. 01, mostra o caminho da energia elétrica e os agentes envolvidos na sua comercialização.

Fig. 1 – Fluxograma do caminho da energia elétrica.



Fonte: Compilação do autor.

O mercado cativo é um ambiente de contratação, no qual os consumidores não escolhem a fonte que será utilizada e que tem suas tarifas atribuídas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), criada pela lei 9.427/1996 (BRASIL, 1996). Sua variação de valores está atribuída pela tarifa regional, que é delimitado pelo nível dos reservatórios de água e o tipo de fonte que será usada para suprir a demanda de consumo. Além disso, há a revisão tarifária periódica e o reajuste tarifário anual como parâmetro de precificação.

A decisão de que fonte usar e quando deve ser feito isso, está atribuída ao Operador Nacional do Sistema (ONS), validado pela lei 9.648/1998 (BRASIL, 1998).

Todo consumidor está diretamente enquadrado em consumidor cativo ou regulado, podendo migrar mediante a solicitação e retornar para o ACR após cinco anos da migração (ROCKMANN, 2019, p.110).

O mercado livre de energia é um ambiente de contratação, no qual o consumidor tem liberdade de escolha do fornecedor da energia, podendo negociar diretamente com o gerador o

valor pago e o tempo de duração do contrato. Este mercado foi regularizado pela lei 9.047/1995, no qual delimita que consumidores com demanda igual ou superior a 3.000 kW, estavam habilitados a escolher o fornecedor que o atenderia e a negociar o valor pago pela energia (BRASIL, 1995).

No ano de 2004, surgiu a necessidade de criar um órgão que gerisse esse mercado, e para tal, foi criada a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que substituiu o Mercado Livre Atacadista (MAE), que não tinha personalidade jurídica, no qual previa que o mercado seria autorregulado (colocar referência). No entanto, o modelo falhou e deu origem à CCEE, criada pela lei 10.848/2004 (BRASIL, 2004b).

A CCEE divide o mercado de energia elétrica em três grupos, geração, distribuição e comercialização, sem haver a separação entre a transmissão de alta tensão e a distribuição local (ROCKMANN, 2019, p.10).

A lei 9.074 de 1996, classifica em quatro categorias de consumidores que atendem os pré-requisito para migração ao mercado livre, são esses:

- Consumidor potencialmente livre: Usuários que têm demanda superior a 2.000 kW, sendo esse um consumidor que opta por se manter no ACR, mesmo sendo elegível a migração para o consumo livre.
- Consumidor parcialmente livre: Usuário que tem demanda superior a 2.000 kW, que opta por utilizar de forma híbrida o ACR e ACL, sendo esse menos usual.
- Consumidor especial: Usuário que apresenta demanda igual ou maior a 500 kW e menor que 2.000 kW. A partir dessa demanda é possível fazer a migração, no entanto limitado a utilização de fontes alternativas, ou seja, as fontes renováveis.
- Consumidor livre: Usuário que apresenta demanda igual ou maior que 2.000 kW, que migra para o ACL, tanto pela associação direta à CCEE, quanto através de uma comercializadora que realiza esse contato direto entre gerador e consumidor final.

Em 2019, foi aprovado na norma 465 um cronograma estabelecendo que no ano de 2023 consumidores de 500 kW sejam considerados diretamente livres, sem limitação de fontes como atualmente (BRASIL, 2019).

Para fazer a migração ao mercado livre quando não se tem a demanda necessária existem duas opções de comunhão, que somam demandas para atender a quantidade mínima necessária. A primeira pela união de consumidores da mesma área, sem limitação física entre os locais e a segunda pela utilização do conceito de matriz e filiais.

Analisando a ACR x ACL, verificou-se que o ambiente de contratação regulado é mais fechado e garante que a complexidade do setor elétrico fique voltado para os setores de regulação, sendo assim, pode se destacar apenas uma fatura e a não necessidade de associação da câmara ou de cuidados para não exceder a demanda contratada, e o peso social sobre essa modalidade, tal como a apresentação do conceito de “baixa renda” disponibilizado pela ANEEL que garante benefícios e descontos na tarifa para universalização da energia.

O ambiente de contratação livre é aberto para demanda igual ou superior a 500 kW, consegue diminuir o custo com energia em até 35%, mas apresenta um engessamento de consumo, ou seja, é necessário conhecimento real do consumo para que a redução seja a esperada, já que uma vez excedida, gera uma nova fatura na CCEE, que é estabelecida pelo Mercado de Curto Prazo (MCP), que tem valores tarifários superiores. Também apresenta limitação ao ingressar, com pagamento de taxa de adesão e um prazo de até um ano para certificar essa habilitação para migrar ao mercado livre. Estima-se três faturas para um único usuário, logo a gestão sobre os custos e faturas, torna-se mais complexa e fundamental.

A migração de autarquias para o modelo ACL, que tem como diferencial a liberdade de escolha e gestão de seus recursos, podendo utilizar seus recursos sem precisar que outras instâncias interfiram ou aprovem o uso do dinheiro ou de adesão de serviço. Dessa forma, supõe-se que não há impedimentos legais para que ocorra a migração, no entanto alguns pontos requerem assistência jurídica, uma vez que no geral o banco financeiro das autarquias é o banco do Brasil e a CCEE, responsável pelo mercado livre, responde a um banco privado, o Bradesco, validado pelo despacho nº 1656 de 2016 na qual a CCEE reafirma a necessidade de criação de uma conta neste banco privado.

A autarquia municipal Hospital das Clínicas, da Universidade de São Paulo (USP), realizou o estudo de caso da migração e divulgou os resultados em sua revista digital Jornal FMRP-USP, publicada em 2019. Ao finalizar esse processo de migração estimava-se redução de 2,2 milhões de reais na fatura de 2019 comparada aos R\$8.811.602,95 gastos em 2018, uma economia de 25% (JORNAL FMRP, 2019).

No âmbito da autarquia federal, a Base da Marinha do Rio de Janeiro realizou essa migração no ano de 2020, e estimou-se que a redução inicial seria de 19% no primeiro ano (BRASIL, 2020).

RESULTADOS

Estudo de caso da migração do Instituto Federal da Bahia, campus Salvador, ao Mercado Livre da Energia.

Para avaliar as oportunidades e ameaças na migração do campus Salvador para o mercado livre, foi realizada consulta a uma empresa especializada, com simulação realizada em agosto de 2021, e por meio das informações da consulta e da legislação, foi realizada uma Análise SWOT. Para essa simulação, a empresa considerou os seguintes parâmetros e adequações:

- a) Período de consumo médio mensal, de março de 2019 a maio de 2020, que apresentou 20.213 kWh no horário de ponta e 100.152 kWh fora ponta;
- b) A demanda de energia foi ajustada de 450 kW para 500 kW com o objetivo de atender à demanda mínima para a migração;
- c) Foi considerado os custos relativos a Encargos de Serviço de Sistema (ESS), Encargo de Energia de Reserva (ERR), Mensalidade CCEE, encargos de conexão e custos com gestão de energia e impostos (PIS, COFINS e ICMS) e mais Custo da Gestão do contrato.
- d) A simulação não contempla reajustes anuais ou devido a revisão do ciclo tarifário, pois não incidem no contrato do Mercado Livre;
- e) Como o contrato no Mercado Livre não sofre incidências das Bandeiras Tarifárias, a simulação contemplou a economia nas Bandeiras Verde, Amarela e Vermelha Patamar II, conforme ocorreram no período em estudo;
- f) A simulação considerou a adesão ao Mercado Livre a partir de 2022 com prazo de 5 anos, sendo a economia de energia comparada entre os Ambiente de Contratação Regulado versus Ambiente de Contratação Livre.

Foram apresentados os seguintes resultados de economia em 5 anos, considerando uma hipotética aplicação das bandeiras tarifárias durante o ano todo:

- Na Bandeira Verde há economia de aproximadamente 1,48 milhão de reais;
- Para Bandeira Amarela houve economia de aproximadamente 1,68 milhão de reais;
- E considerando a Bandeira Vermelha Patamar II a economia foi de aproximadamente 2,18 milhão de reais.

A Tabela 01, apresenta o percentual de economia acumulada nos anos em função das Bandeiras Tarifárias. É possível observar que os maiores percentuais de economia estão relacionados à Bandeira Vermelha Patamar II, uma vez que a bandeira da escassez hídrica não

havia sido estabelecida na época. A observação é ainda mais motivadora devido ao aumento em até 52% no valor das Bandeiras Tarifárias e à aplicação da bandeira Crise Hídrica nesses quatro meses finais de 2021, ou seja, há um cenário não favorável quanto ao preço da energia elétrica no futuro próximo para o Consumidor Cativo, que se acentua após criação deste novo patamar de bandeira tarifária (escassez hídrica com a cobrança de 14,20 R\$/100 kWh, sem contar os impostos).

Tabela 1 - Percentagem de economia acumulada por Bandeira Tarifária.

| Anos | Bandeira Verde (%) | Bandeira Amarela (%) | Bandeira Vermelha Patamar III (%) |
|------|--------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 2022 | 2,93 | 5,35 | 10,94 |
| 2023 | 15,95 | 18,05 | 22,89 |
| 2024 | 22,42 | 24,35 | 28,82 |
| 2025 | 24,83 | 26,70 | 31,03 |
| 2026 | 26,22 | 28,06 | 32,31 |

Fonte: Consulta a empresa especializada (2021).

Para avaliar a viabilidade de adesão do campus Salvador ao Mercado Livre, foi utilizado como ferramenta a Análise SWOT para identificar tanto forças e fraquezas como também as oportunidades e ameaças na tomada de decisão. O Quadro 1, mostra o levantamento das variáveis levantadas, onde os fatores internos que são as Forças, que são consideradas favoráveis a proposta e as Fraquezas, que são fatores que ameaçam a proposta e que podem levar a consequências negativas.

Quadro 1 - Análise SWOT para adesão do campus SSA ao Mercado Livre de Energia.

| | |
|--|--|
| <p>Forças (fatores internos):</p> <p>Crescente demanda de energia;</p> <p>O campus Salvador tem profissionais com potencial para qualificação no Mercado Livre;</p> <p>Tem fiscalização técnica do contrato com a concessionária de energia.</p> | <p>Fraquezas (fatores internos):</p> <p>Não há em seu quadro atual de docentes, expertise no Mercado Livre;</p> <p>Precisa ser definido a gestão da energia elétrica junto à empresa contratada;</p> <p>Necessidade de gerenciamento rigoroso da energia elétrica;</p> <p>Burocracia na administração pública.</p> |
| <p>Oportunidades (fatores externos):</p> <p>Redução significativa do custo com energia;</p> <p>Não pagamento tanto de Bandeiras Tarifárias como de reajustes anuais ou devido a revisão do ciclo tarifário;</p> <p>Previsibilidade do custo com energia;</p> <p>Desconto na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) se contratar energia incentivada (solar, eólica, PCH's etc.): 50% na demanda contratada e aproximadamente 48% na base de cálculo do consumo na ponta da TUSD;</p> | <p>Ameaças (fatores externos):</p> <p>Custo da energia muito elevado quando na ultrapassagem da energia estimada para consumo no mês;</p> <p>Custo não orçado na adequação da subestação;</p> <p>Para retorno ao Mercado Cativo são necessários 5 anos após a sua saída.</p> <p>Administração de até 6 faturas.</p> |

| | |
|--|--|
| <p>Pagamento do valor de tarifa de energia única, sem distinção de horário;</p> <p>Possibilidade de venda de energia no mercado de curto prazo, se houver sobra de energia no mês;</p> <p>Contrato com empresa que tem experiência no Mercado Livre.</p> <p>Potencial de estender a compra de energia para todos os Campi.</p> | <p>Da energia injetada na rede pelo autoprodutor, a lei 11.488, prevê a compensação de alguns encargos, portanto a devolução é parcial</p> |
|--|--|

Fonte: Autores do artigo.

A partir do levantamento da Matriz SWOT, e em relação a Forças e Oportunidades, fica evidente que:

- Devido à alta demanda de energia em horário onde a mesma é mais cara e o consequente potencial de economia, a adesão ao Mercado Livre, representa grande oportunidade;
- O fato de se tratar de um Instituto Tecnológico, há possibilidade de habilitar os servidores responsáveis na instituição, no Mercado Livre de Energia;
- Há uma certa proteção em relação aos custos com reajustes de energia para os consumidores que estão no Mercado Livre;
- A previsão de economia já contempla todos os custos relativos à empresa contratada e
- Essa experiência teria potencial de ser aplicada a todos os Campi da instituição.

Em relação a Fraquezas e Ameaças foram identificados que:

- É necessária equipe interna com conhecimento técnico para acompanhamento dos contratos nessa área;
- Há necessidade de gerenciamento rigoroso do consumo de energia;
- Existe custo com adequação da subestação que não foi orçado;
- O retorno ao Mercado Cativo só pode ser efetivado após 5 anos a partir da data de solicitação da mudança;
- É necessário a administração de até seis faturas relativas ao contrato e
- Os trâmites burocráticos da administração federal, pode impedir a migração.

Apesar do Mercado Livre de Energia Elétrica ser considerado uma oportunidade para os grandes consumidores, detalhes como custo de adequação de subestação, necessidade de profissionais qualificados para acompanhar o gerenciamento da energia e a burocracia da administração pública, são fatores que podem levar à inviabilidade da adesão.

CONCLUSÕES

A migração do IFBA, campus Salvador para o mercado livre é possível e pode trazer redução nos gastos, usando como base a simulação do orçamento realizado. Estima-se que para o campus de SSA, a redução a redução média mínima de 26% por ano após o quinto ano de contrato. Outra possibilidade é unir todas as unidades do IFBA, junto com a reitoria, e conseguir essa redução para todos os campi e não somente para o de Salvador. Porém, esta opção, torna-se bastante complexa a sua gestão, devido a quantidade de unidades (33) e espalhamento no estado da Bahia.

Dentre as forças e oportunidades identificadas na matriz SWOT, há destaque para a adesão do Instituto ao ACL em relação ao preço da energia. Enquanto no ACR a energia varia de preço em relação aos postos tarifários (horários), fora ponta e de ponta (preço da energia aproximadamente 7 vezes o preço fora ponta), onde o IFBA tem maior demanda de energia, no ACL o preço não varia em relação ao horário. E em relação às fraquezas e ameaças destaca-se a burocracia, sinalizada pelos números de adesões identificados na pesquisa e que pode significar a principal dificuldade para viabilizar a contratação.

O mercado livre apresenta dados expressivos de redução de custos com energia, com relação à sua eficiência em otimização de custo sem redução do consumo ou mudança do perfil, no entanto a migração sem estudos adequados pode ocasionar em valor superior ao pago no mercado cativo, caso a quantidade acordada com os geradores seja inferior ao consumido, ou se houver aumento de consumo em relação ao previsto, gerando uma fatura na CCEE que modifica a margem de corte de custos com o insumo, uma vez que a energia comprada sem previsão, paga-se uma tarifa de consumo maior.

REFERÊNCIAS:

ABRACEEL. Por que migrar para o mercado livre de energia?. 6 jun. 2020. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/clipping/2020/07/por-que-migrar-para-o-mercado-livre-de-energia/>>. Acesso em: 05 jan.2021.

BRASIL. Base Naval do Rio de Janeiro conclui migração para o mercado livre de energia. 2020. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/base-naval-do-rio-de-janeiro-conclui-migracao-para-omercado-livre-de-energia>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BRASIL. Portaria nº 465, 12 de dezembro de 2019. Trata das possibilidades de livre contratação de energia elétrica por parte dos consumidores. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, 12 dez. 2019. Disponível em:< <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-23355488> 9>. Acesso em: 19 set. 2020.

BRASIL. Lei nº 10.848, 15 de março de 2004b. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em: 17 fev. 2021.

BRASIL. Decreto nº 5.163, 30 de julho de 2004a. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de

autorizações. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, 30 jul. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM> . Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998. Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, 27 mai. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19648cons.htm>. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Diário Oficial República Federativa do Brasil, Brasília, 26 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427compilada.htm>. Acesso em: 22 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.047, de 07 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 08 jul.1995. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1995/lei-9074-7-julho-1995-347472-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 05 nov. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 08 nov. 2020.

JORNAL FMRP. Hospital das Clínicas de Ribeirão compra energia no mercado livre e deve economizar R\$ 2,2 milhões este ano. Disponível em: <<https://jornal.fmrp.usp.br/hospital-das-clinicas-de-ribeirao-compra-energia-no-mercado-livre-e-deve-economizar-r-2,2-milhoes-este-ano/>>. Acesso em: 01 fev. 2021.

ROCKMANN, Roberto (Organizador). 20 anos do mercado brasileiro de energia elétrica. -1. ed. - São Paulo: CCEE, 2019.

TOLMASQUIM, Mauricio. As origens das crises energética brasileira. Ambientes? & Sociedade, n. 6-7, p.179, 2000.

CAPÍTULO 3

AQUAPONIA: INTERDISCIPLINARIDADE EM ESCOLAS PÚBLICAS

Daniel Vieira Sant'Anna
Daniele de Fátima Fuganholi Abiuzzi Sant'Anna
Fabiano da Silva Araujo
Robson Galdino da Silva
Miguel Abiuzzi Sant'Anna

RESUMO

O presente estudo visou analisar um projeto interdisciplinar, com a construção de um microssistema de aquaponia, através de atividades desenvolvidas com alunos do ensino fundamental de duas escolas da rede pública municipal de Lençóis Paulista/SP. O objetivo foi proporcionar estudos e aplicações práticas sobre conteúdos teóricos vistos em sala de aula, além de realizar projetos interdisciplinares relacionados com os objetivos do desenvolvimento sustentável, postos pela Agenda 2030 da ONU. Foi realizado através de levantamento de referencial teórico com a leitura de livros, artigos e periódicos e de estudo de caso, no qual foram analisados os resultados obtidos durante a realização do projeto. Os professores, principalmente de ciências e matemática, apontaram quais conteúdos poderiam ser abordados com o modelo de aquaponia e os compararam com os conteúdos do currículo escolar verificando que poderiam auxiliar na assimilação desses conteúdos com a aplicação prática destas teorias. Para a construção do microssistema de aquaponia foi desenvolvido um projeto com a utilização de materiais de baixo custo onde foram listados os materiais necessários e formadas algumas parcerias com empresas do município para a aquisição e posteriormente montado com o auxílio de alunos e professores, sendo disponibilizado em ambiente comum da escola. O sistema completo, bem como seu ciclo, foi apresentado aos demais alunos das duas escolas pelos professores que inicialmente explicaram seu funcionamento de forma geral e, em seguida, puderam se aprofundar nos assuntos relacionados aos seus componentes curriculares. E de uma forma mais abrangente, também foi possível abordar com a execução deste projeto de forma interdisciplinar alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável apresentados pela Agenda 2010 da ONU. Após a realização do projeto, concluímos que a presente pesquisa teve grande valia junto ao ambiente escolar, pois favoreceu a melhoria da prática de ensino dos professores e proporcionou aos alunos avanços nas diversas áreas do conhecimento que foram relacionadas, principalmente as ciências e a matemática, assim como aos pesquisadores que conseguiram incentivar e auxiliar os educadores na utilização deste recurso com os seus alunos como ferramenta de aprendizagem desenvolvendo competências e habilidades para construção do conhecimento e proporcionando aos mesmos estudos dirigidos de forma contextualizada, motivadora e desafiadora. Para uma futura melhoria, espera-se evoluir este projeto com a implantação de um sistema de energia solar, que até o momento encontra-se em fase de estudos e busca de recursos.

PALAVRAS-CHAVE: Aquaponia; Educação; Objetivos de desenvolvimento sustentável; Pesquisa interdisciplinar; Organização das Nações Unidas.

INTRODUÇÃO

Ser professor no século XXI tem se apresentando como um grande desafio quando pensamos em nossos alunos que fazem parte das novas gerações, chamadas nativas digitais, definidas por Prensky (2001; 2012) como todas as pessoas nascidas após 1980, cujo desenvolvimento biológico e social se deu em contato direto com as tecnologias digitais, computadores e afins. O giz e lousa do método tradicional já não são suficientes para essa nova geração, devendo os professores se apoiar em técnicas de ensino com estudos práticos sobre os assuntos teóricos abordados em sala de aula, explorando modos de ensino através da observação e experimentação, principalmente em componentes curriculares relacionados as ciências e a matemática.

Sobre esta percepção apresentou-se o projeto da aquaponia, que é uma técnica de cultivo de plantas e hortaliças associadas a criação de peixes, permitindo analisa-las e, também, a relação entre elas. Esta nova técnica de cultivo vem sendo apresentada em feiras de agricultura e agricultura familiar por ser um método simples, ter relativamente baixo custo, de utilização de pouca água (reposição) em relação a agricultura tradicional, que não permite o uso de agrotóxicos devido a criação do peixe, e por ser considerado uma técnica de produção de alimentos mais naturais.

Muito além de simplesmente demonstrar a técnica da aquaponia, este projeto teve como intuito estudar sobre vários aspectos e perspectivas nos diversos componentes curriculares, além da sua relevância no desenvolvimento dos alunos no que diz respeito às competências educacionais apontadas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Outra linha importante, seguida durante o desenvolvimento desta pesquisa, estava relacionada aos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), apresentados pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), onde durante este projeto, foi possível englobar dez dos dezessete objetivos propostos.

O projeto originou-se por meio de diálogos entre os pesquisadores e professores de duas unidades escolares do município de Lençóis Paulista/SP e teve início já com o envolvimento dos professores, o que favoreceu esta prática pois, assim, não houve grande resistência como geralmente acontece com projetos sugeridos por pesquisadores externos ao ambiente escolar. Para isso, buscou-se aplicar os conceitos das metodologias ativas, potencializando o protagonismo dos alunos através de atividades voltados a cultura *maker* e dando a eles a oportunidade de participarem ativamente durante todas as etapas do projeto.

Os principais objetivos foram proporcionar estudos e aplicações práticas sobre conteúdos teóricos estudados em sala de aula, além de realizar projetos interdisciplinares relacionados com os objetivos de desenvolvimento sustentável, postos pela Agenda 2030 da ONU, com o auxílio de um microssistema de aquaponia no ambiente escolar.

A partir deste objetivo, iniciou-se um trabalho de motivação e conscientização por parte dos professores sobre a importância e relevância da utilização da aquaponia em sua prática docente através das possibilidades educacionais que ela oferece, propiciando a autonomia aos alunos na construção de seu conhecimento, oferecendo novos métodos de estudos e dando a possibilidade de produzirem seus próprios microssistemas de aquaponia, podendo estes conhecimentos serem replicados fora do ambiente escolar, resultando num processo inicial do indivíduo de preparação para o trabalho e para a vida.

A escola, para fazer cumprir sua responsabilidade social de educar e formar os novos cidadãos precisa contar com professores que estejam dispostos a captar, entender e a utilizar novas linguagens e novas formas de aprender e ensinar. Nesta perspectiva, esta pesquisa foi realizada através de estudos destinados a encontrar meios para que os professores da rede pública municipal, mesmo com pouco tempo, se sentissem capazes, independentes e criativos para se aventurarem em uma nova forma de trabalhar conteúdos de forma prática, dinâmica e atraente aos alunos.

METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma pesquisa de campo com objetivo participativo e descritivo, realizado em duas escolas da rede pública municipal de Lençóis Paulista/SP, com a participação dos professores e alunos do ensino fundamental, anos iniciais e anos finais.

Após pesquisas bibliográficas abrangendo os assuntos propostos foram realizadas reuniões com os professores envolvidos com a intenção de esclarecer os objetivos e a relevância do trabalho e da utilização deste recurso em sua prática docente. De acordo com Moran (2005) se torna importante ter educadores maduros intelectual e emocionalmente, pessoas curiosas, entusiasmadas, abertas, que saibam motivar e dialogar.

Na sequência os professores, principalmente de ciências e matemática, apontaram quais conteúdos poderiam ser abordados com o modelo de aquaponia apresentado. Por definição, “aquaponia (do grego *aqua* = água e *ponos* = cultivo) é sistema de produção no qual se cultiva plantas e se cria peixes de forma integrada. Diferente da Hidroponia não são utilizados

fertilizantes na solução de cultivo, a fertilidade do sistema se dá através das excretas dos peixes”. (DEBONI NETO; MARQUES, 2014, p. 2).

Logo após, realizamos a comparação dos conteúdos do currículo escolar de cada ano e em que a visualização da aplicação prática destas teorias poderiam auxiliar na assimilação desses conteúdos. Esta prática proporciona aos professores a condição de facilitador, “criando um ambiente propício para a aprendizagem, onde o aluno siga seu ritmo próprio, por meio de construções significativas, com materiais passíveis de ser compartilhados, muito próximo da cultura *maker*, da aprendizagem mão na massa com o uso das tecnologias”. (SOBREIRA *et al.*, 2020, p. 28). Corroborando com esta ideia a Competência Geral 2 da BNCC sugere “exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções [...]”. (BRASIL, 2017, p. 9).

É neste sentido que a metodologia ativa propõe uma abordagem de protagonismo ao aluno, dando a ele a oportunidade de deixar o papel de agente passivo e assumindo a responsabilidade de buscar novos conhecimentos, de pesquisar, de se apropriar deles, de aplicar e compartilhar estes conhecimentos com os demais. Neste sentido, Glasser (2001) nos mostra o grau de aprendizagem do estudante relacionando o tipo de mediação escolhida pelo professor, apontando que enquanto o aluno tem um papel passivo neste processo, geralmente associado as práticas das escolas tradicionais, realizando leituras dos conteúdos, escutando as aulas e as explicações, vendo e ouvindo o que lhe é transmitido, os mesmos tem um nível de aproveitamento menor do que quando lhe é concedida a oportunidade de relacionar de maneira ativa nesta aprendizagem, através de discussões e debates, de atividades práticas, de utilizar, de demonstrar e principalmente de ensinar.

Após o processo de pesquisas e levantamento de referencial teórico, o próximo passo foi a construção do microsistema de aquaponia com a utilização de materiais de baixo custo, tendo em vista que seria construído em unidades escolares públicas, mas que abrangesse todo o projeto. Foram listados os materiais necessários e formadas algumas parcerias, principalmente com a uma empresa de produtos agropecuários e pet shop, e com a uma empresa de instalações elétricas e sistemas de segurança, ambas do município de Lençóis Paulista/SP, que viabilizaram a aquisição de equipamentos e materiais necessários para a execução do mesmo.

Logo após o sistema foi montado com o auxílio de alunos, professores e colaboradores, sendo posteriormente disponibilizado em ambiente comum da escola. De acordo com Alonso

(2003) não basta saber o conhecimento abstrato, é necessário que ele seja atrelado ao fazer, ou seja, o conhecimento só é importante se tiver utilidade.

Para maior compreensão do funcionamento do sistema de aquaponia disponibilizado as escolas foi desenvolvido um painel demonstrativo, apresentado pela figura 1. Este painel foi constituído com as ideias principais do projeto, como uma breve apresentação do sistema de aquaponia, as camadas de solo e água da cama de cultivo, o funcionamento do Sifão Bell (que segue a aplicação do copo de Pitágoras), o filtro UV e a listagem de OBS da agenda 2030 da OUN.

Figura 1: Painel demonstrativo do projeto.



Fonte: Acervo dos autores (2020).

O ciclo da aquaponia, de uma forma bastante resumida, relaciona o excedente da alimentação dos peixes e seus dejetos que formam efluentes e amônia se tornam-se tóxica para os peixes, mas são muito nutritivos para as plantas. Esta água é bombeada para as camas de cultivo, formada por um filtro biológico composto por pedras britadas e argila expandida, onde bactérias as transformam a Amônia em Nitrito e Nitrato que são absorvidas pelas plantas e os utilizam para se desenvolver. Parte da água passa pelo filtro Ultravioleta (UV) que tem ação vermicida e após esta etapa a água retorna limpa para o tanque dos peixes, sendo controlada a sua vazão por um Sifão Bell que controla a umidade nas raízes das plantas e otimiza a oxigenação dos peixes. Em relação ao sistema da aquaponia, “os principais componentes de um sistema aquapônico são o tanque aquícola, que abriga os peixes, e a bancada, ou estrutura hidropônica, que recebe os vegetais a serem cultivados” (SOUZA, 2018, p. 16). Segundo o autor, existem outros componentes considerados secundários a este sistema, como os filtros mecânicos e biológicos, os aeradores e as bombas d’água.

Em relação aos peixes, geralmente são utilizados os nativos da região que para este projeto optou-se pela tilápia, por ser de fácil produção, pelo fácil manuseio, pela alta

produtividade e pelo autovalor agregado a estas variedades. As verduras utilizadas são do tipo hidropônicas, onde optou-se pela alface crespa por ser considerada uma fonte rica em fibras, nutrientes, fósforo e cálcio e alface roxa por conter antocianina, que é classificada como um antioxidante. O sistema de aquaponia exposto nas escolas está demonstrada pela figura 2.

Figura 2: Sistema de aquaponia exposto



Fonte: Acervo dos autores (2020).

O sistema completo foi apresentado aos demais alunos das duas escolas pelos professores que inicialmente explicaram seu funcionamento de forma geral e, em seguida, puderam se aprofundar nos assuntos relacionados aos seus componentes curriculares, conforme quadro 1.

Quadro 1: Conteúdos abordados do EF.

| COMPONENTE CURRICULAR | CONTEÚDOS ABORDADOS |
|-----------------------|---|
| Ciências | Peixe (cadeia alimentar), Solo (Formação e tipos, cama de cultivo, fertilidade, sedimentação), Água (composição química, consumo x desperdício, PH, filtragem, sedimentação), Plantas (Ciclo de vida, partes, alimentos de origem vegetal, fotossíntese, plantio e germinação), Luz (natural e artificial), Alimentos e Nutrientes (alimentação saudável, pirâmide alimentar), Energia (tipos de energia), Vida e evolução. |
| Matemática | Métodos de contagem, Situações-problemas, Calendário (Dias, semanas, meses), Geometria (Formas geométricas), Grandezas e Medidas (Área, perímetro, volume, mm x m x m ³), Tabelas, Análise de gráficos, Cálculo de porcentagem. |
| Física | Gravidade; Pressão e Vácuo (Sifão Bell); Vazão; Temperatura. |

Fonte: Organizado pelos autores (2020).

Com a utilização do sistema de aquaponia, disposto nas duas unidades escolares, foi possível sua exploração em diversos momentos pelos professores junto a seus alunos, favorecendo abordar temas diversificados e relacionados com os componentes curriculares que cada professor ministrava com aquelas turmas.

De uma forma mais abrangente, outros temas puderam ser abordados com a execução deste projeto de forma interdisciplinar, o que contemplou alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável apresentados pela Agenda 2030 da ONU, conforme apresentado pelo quadro 2.

Quadro 2: Objetivos de desenvolvimento sustentável abordados.

| OBJETIVO | DESCRIÇÃO | TEMA ABORDADO |
|----------|-------------------------------------|---|
| ODS2 | Fome zero e agricultura sustentável | Agricultura familiar |
| ODS11 | Cidades e comunidades sustentáveis | |
| ODS3 | Saúde e bem-estar | Alimentação saudável com verduras e peixes. |
| ODS4 | Educação de qualidade | Conhecimento teórico e aplicação prática. |
| ODS6 | Água potável e saneamento | Qualidade da água e métodos de filtragem. |
| ODS7 | Energia limpa e acessível | Fontes de energia limpa (placas de energia solar) para bombas d'água, filtro UV e oxigenação. |
| ODS12 | Consumo e produção responsáveis | Materiais reutilizáveis; consumo consciente x desperdício de alimentos. |
| ODS14 | Vida na água | Ecossistema biótico envolvendo seres vivos, plantas e micro-organismos. |
| ODS15 | Vida na terra | Parceria com empresas para o custeio do projeto. |
| ODS17 | Parcerias e meios de implementação | |

Fonte: Organizado pelos autores (2020).

Conforme apresentado, buscou-se vincular os componentes curriculares aos objetivos de desenvolvimento sustentável, de forma que os professores e alunos pudessem naturalmente trabalhar ambos conteúdos de forma interdisciplinar, mas sem a necessidade de alteração dos conteúdos educacionais estabelecidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após diálogo com os professores, percebeu-se que muitos dos conhecimentos relacionados com a prática da aquaponia estavam diretamente relacionados com os conteúdos estudados em sala de aula por alunos do ensino fundamental, anos iniciais e anos finais, o que favoreceu o desenvolvimento desta pesquisa e propiciou o trabalho em conjunto ou simultaneamente de diversos professores, em vários componentes curriculares, com seus alunos.

Os alunos se apropriaram dos conteúdos com a demonstração prática, melhor do que somente lendo o conteúdo teórico com o professor em sala de aula, o que favoreceu o desenvolvimento de habilidades e competências relacionadas as atividades propostas.

Com a execução deste projeto foi possível abordar assuntos relacionados aos objetivos para transformar o mundo apontados pela ONU, o que também favoreceu o contexto familiar pois, este projeto, poderia ser implementado em residências por ser um método de produção alimentar em baixo custo e que pôde ser apresentado aos pais interessados que compareceram na escola buscando informações.

Outro ponto significativo foi a possibilidade de criação de parcerias com empresas interessadas no desenvolvimento educacional dos alunos e que propiciaram a aquisição dos materiais necessários.

Alguns professores demonstraram interesse na execução do projeto, pois consideraram que o tema estava diretamente relacionado com os conteúdos de seu componente curricular, mesmo apresentando pontos não favoráveis, como nível de dificuldade em trabalhar projetos interdisciplinares, a questão da jornada de trabalho e até mesmo a dificuldade em trabalhar em parceria com outros professores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após realização do projeto, as pesquisas, intervenção e análise dos resultados, concluímos que a presente pesquisa teve grande valia junto ao ambiente escolar, pois favoreceu a melhoria da prática de ensino dos professores e proporcionou aos alunos avanços nas diversas áreas do conhecimento que foram relacionadas, principalmente as ciências e a matemática.

Outro ponto que julgamos válido sobre a realização deste projeto é a possibilidade de aplicação dos conhecimentos adquiridos pelos alunos em atividades interdisciplinares, relacionados aos objetivos de desenvolvimento sustentável apontados pela Agenda 2030 da ONU, possibilitando também produzir materiais tanto em sala de aula como em sua futura vida profissional.

O desenvolvimento desta pesquisa foi bastante satisfatório pois conseguimos incentivar e auxiliar os educadores na utilização deste recurso com os seus alunos como ferramenta de aprendizagem, desenvolvendo assim competências e habilidades para construção do conhecimento e proporcionando aos mesmos estudos dirigidos de forma contextualizada, motivadora e desafiadora.

Espera-se que este recurso didático seja utilizado também em outros momentos com os alunos e com outras salas de aula, podendo posteriormente desenvolver de forma mais aprofundada outros conteúdos, e que através do desenvolvimento de atividades práticas os alunos se sintam fazendo parte do projeto, cativando-os e motivando-os.

Agradecemos as empresas parceiras que colaboraram com a execução deste projeto. Agradecemos também as duas unidades escolares que abriram suas portas para que pudéssemos abordar com seus alunos e professores temas tão relevantes, tanto no contexto educacional quando na formação do cidadão consciente.

Para uma futura melhoria, espera-se evoluir este projeto com a implantação de um sistema de energia solar que até o momento não conseguimos implementar devido a não conclusão dos estudos, que se encontra em andamento, e a busca por parcerias para suprir algumas informações técnicas relevantes e a falta de recursos para sua execução.

Com isso, muito além de simplesmente demonstrar um modelo de microssistema de aquaponia, os professores estarão dando oportunidade a seus alunos de conhecerem novas formas de aprendizagem, outros recursos e possibilitando um aprendizado mais significativo.

REFERÊNCIAS:

- ALONSO, M. *et al.* **Gestão educacional e tecnológica**. São Paulo: Avercamp. 2003.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em 28 mai. 2020.
- DEBONI NETO, A.; MARQUES, R. N. Micro sistema de aquaponia como recurso didático para uso escolar. **Anais V Jornada das Licenciaturas da USP/IX Semana da Licenciatura em Ciências Exatas - SeLic**. São Carlos: USP, 2014. <https://docplayer.com.br/30377770-V-jornada-das-licenciaturas-da-usp-ix-semana-da-licenciatura-em-ciencias-exatas-selic-a-universidade-publica-na-formacao-de-professores-ensino.html>
- GLASSER, W. **Teoria da Escolha**: uma nova psicologia de liberdade pessoal. São Paulo: Mercuryo, 2001.
- MORAN, J. M. As múltiplas formas de aprender. [recurso eletrônico], **Revista Atividades & Experiências**. Julho. 2005. Disponível em: <http://ucbweb.castelobranco.br/webcaf/arquivos/23855/6910/positivo.pdf>. Acesso em 06 abr 2020.
- ONU. **AGENDA 2030**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030>. Acesso em 15 abr 2020.
- PRENSKY, M. *Digital Native, digital immigrants*. **On the horizon**, MCB University Press, Vol. 9, n. 5, out. 2001. Disponível em: <http://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-20Part1.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- PRENSKY, M. **Aprendizagem baseada em jogos digitais**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

RESNICK, M. **Jardim de infância para a vida toda**: por uma aprendizagem criativa, mão na massa e relevante para todos. [recurso eletrônico]. Porto Alegre: Penso, 2020.

SOBREIRA, E. S. R.; *et al.* Cultura *maker* e jogos digitais. *In*: MEIRA, L.; BLIKSTEIN, P. (orgs.). **Ludicidade, jogos digitais e gamificação na aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, p. 25-38. 2020.

SOUZA, R. T. Y. B. **Aquaponia: uma ferramenta didática para formação inicial e continuada de professores de ciências**. 2018. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6371>. Acesso em 17 mai. 2020.

CAPÍTULO 4

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: PERSPECTIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Eliezio Nascimento Barboza

Carlos chagas Brasil Alves

Jeremias Antunes de Sousa

Douglas Grzebieluka

Josiane Manchur

Polyanne Gomes de Brito Evangelista

Valdemir Fonseca da Silva

Jean Carlos Triches

RESUMO

A produção e a destinação final inadequada de resíduos sólidos são um problema que transcende nações, atingindo as mais diversas sociedades, outrossim, demandando de políticas de gerenciamento, estando atrelada a falta de tratamento adequado desses resíduos, podem levar a contaminação dos ecossistemas, causando graves danos à saúde pública e a biodiversidade como um todo. No entanto, atualmente, existem diversas tecnologias de tratamento desses resíduos, no qual são caracterizados como processos físicos, químicos e biológicos que objetiva diminuir a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos sanitários e o beneficiamento econômico do resíduo. Neste contexto, o presente artigo objetiva realizar uma breve revisão sobre uma das tecnologias utilizadas no Brasil, a incineração e compostagem, explorando suas vantagens e desvantagens. A partir da literatura, verificou-se que uma das principais vantagens da incineração, é a redução do volume e massa de resíduos sólidos a serem descartados, aproximadamente de até 90%. Além disso, há uma redução dos custos de logística e gerenciamento dos resíduos, bem como previne o crescimento de bactérias patogênicas, reduz odores e a proliferação de vetores de doenças. No que se refere a compostagem, verificou-se que essa tecnologia possui grande potencial no tratamento de resíduos, possibilitando ganhos ambientais, sociais e econômicos, diminuindo a quantidade de resíduos em lixões ou em aterros sanitários, bem como gera vários ganhos financeiros quando aplicados na agricultura, através da diminuição de fertilizantes químicos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos; Compostagem; Incineração; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Desde a formação dos primeiros aglomerados humanos, tem-se a exploração insustentável dos recursos naturais, sendo a geração de resíduos sólidos a expressão mais visível e concreta da poluição ambiental, como consequência de grande parte das atividades humanas (MACHADO, 2015).

Os resíduos sólidos são um grande causador de danos ao planeta, visto que além de poluir, atrai bichos e insetos, que através deles trazem doenças para a sociedade. A geração de

resíduos vem atingindo a humanidade há muitos anos, mas só no final do século XX e início do século XXI, que o impacto causado pelos resíduos descartados de forma irregular vem sendo debatido na sociedade (REIS; FERNANDES, 2021).

A quantidade de resíduos sólidos despejados no ambiente tem aumentado significativamente ao longo das últimas décadas. Por causa das crescentes taxas de geração de resíduos sólidos e das concentrações de metais pesados potencialmente perigosas, que podem pôr em perigo o ambiente envolvente, estes resíduos sólidos são preocupantes (GOMES; ROCHA, 2019).

Um fato preocupante é que 40% do volume total do lixo produzido é destinado a lixões expostos a céu aberto, proporcionando a emissão de gases para a atmosfera e contaminação do solo e lençóis freáticos (ABRAMOVAY; SPERANZA; PETITGAND, 2013). No entanto, após a realização da conferência Rio 92, a questão dos resíduos sólidos passou a ser levantada no mundo todo, tanto nos países desenvolvidos quanto nos países em desenvolvimento, pois este tipo de resíduo contribui de forma direta ou indireta para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Desde a conferência, novas prioridades com relação à gestão sustentável dos resíduos sólidos têm sido adotadas (KINASZ; MORAIS, 2018).

Atualmente, a geração excessiva de resíduos se dá por diversos fatores, essencialmente: o modelo global de desenvolvimento, fundamentado no contínuo crescimento econômico; o modo de vida baseado no consumo; e os valores que guiam o dia a dia, hábitos, ações e crenças da população. Somado ao crescimento populacional no cenário pós-revolução industrial e o aumento da geração per capita, que demonstram maiores volumes a cada ano (SANTOS, 2011).

De tal modo, a produção e a destinação final inadequada de resíduos sólidos são um problema que transcende nações, atingindo as mais diversas sociedades, outrossim, demandando de políticas de gerenciamento (SANTOS, 2011). Visto que, a disposição final incorreta, atrelada a falta de tratamento adequado desses resíduos, podem levar a contaminação dos ecossistemas, causando graves danos à saúde pública e a biodiversidade como um todo (PEREIRA; BERNARDI, 2021).

De acordo com Rodrigues et al. (2014), as políticas públicas no Brasil adotaram direcionamentos estratégicos com objetivo de prover as necessidades sociais de alinhamento das ações coletivas com o pensamento de responsabilidade social e ambiental. Nestas novas prioridades estão inclusas a redução dos resíduos das fontes geradoras e a redução de sua disposição final no solo, reaproveitamento máximo, aumento da coleta coletiva e reciclagem,

com a inclusão social dos catadores e participação de toda a sociedade, incentivo à compostagem e recuperação da energia gerada (JACOBI; BESEN, 2011).

Embora a maioria dos resíduos ainda tenham como destinação final o aterramento dos materiais sem processamento prévio, já são apresentadas diferentes tecnologias para o seu tratamento, como a compostagem, a digestão anaeróbia, a gaseificação, pirólise, plasma e incineração (PRATES; PIMENTA; RIBEIRO, 2019) que vem sendo empregada de maneira intensa em diversos países do mundo.

Destaca-se a utilização da compostagem como tecnologia de tratamento de resíduos sólidos, em que é o processo de decomposição biológica da matéria orgânica sob condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade, gerando um produto conhecido como adubo orgânico (SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Logo, verifica-se que o adubo orgânico é efeito de um processo controlado de decomposição microbiológica, de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, em presença de O₂ (PIRES, 2011).

Uma característica marcante desse tratamento é a minimização da parcela a ser encaminhada ao aterro sanitário, corroborando com a redução da concentração da carga orgânica no lixiviado gerado, bem como a redução da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (GOMES et al., 2015). Essa tecnologia de tratamento pode ser usada como alternativa para transformação de resíduos sólidos, interligada a um sistema de reciclagem ou como único sistema de tratamento da fração orgânica dos resíduos (PIRES, 2011).

O processo de compostagem é dividido nas seguintes fases, segundo Vital et al. (2018): mesofílica: fase caracterizada por ser curta e se estender por aproximadamente 15 dias, no qual os microrganismos que atuam sobrevivem em temperaturas mais baixas (de até 40°C) e vão metabolizar os nutrientes encontrados com mais facilidade; bioestabilização: essa fase se estende por cerca de dois meses, em que a temperatura pode chegar a mais de 60°C, com preponderância de microrganismos termofílicos e aumento das populações de bactérias e de fungos, acertando a degradação da celulose e da lignina, e o processo de sanitização de microrganismos com potencial patogênico; maturação: nessa fase, a matéria antecipadamente oxidada passa por um processo de humificação, resultando um produto rico em matéria orgânica proveniente de animais e vegetais.

Também vale destacar a incineração, em que se trata de uma tecnologia térmica, baseada na queima, por um tempo pré-determinado, de materiais em altas temperaturas e quantidade apropriada de ar, capaz de levar a redução do volume e massa entre 85 e 90% do volume original

dos resíduos a serem depositados nos aterros (CARDOZO; MANNARINO; FERREIRA, 2021). Outrossim, a possibilidade de aproveitamento energético durante o processo (CAIXETA, 2005). Apesar de muito difundida, a incineração apresenta tanto vantagens, quanto inconveniências ambientais, atrelados principalmente a dificuldade de conciliar a implantação de programas de coletas seletivas e tecnologias de tratamento térmico.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caráter exploratório e bibliográfico sobre a tecnologia de compostagem e incineração, buscando apresentar as principais vantagens e desvantagens, objetivando cooperar para uma reflexão sobre os principais métodos de compostagem de resíduos sólidos realizados no Brasil.

METODOLOGIA

Tipo de Pesquisa

Conforme caracteriza Köche (2016), do ponto de vista da natureza, esse trabalho trata de uma pesquisa básica, também conhecida como pesquisa fundamental, focada em ampliar o conhecimento que temos do mundo e tudo o que o forma. Pela perspectiva de abordagem, é uma pesquisa qualitativa, ou seja, é desenvolvido conceitos, ideias e entendimentos através de padrões encontrados nos dados, ao invés de coletar dados para comprovar teorias, hipóteses e modelos preconcebidos (CARDANO, 2017).

Analisando os objetivos essa pesquisa é exploratória, ou seja, a finalidade é proporcionar maior familiaridade com o problema, tornar-se explícito ou construir hipóteses com seu respeito ou causar aprimoramento do tema (NETO, 2017). Em relação aos procedimentos técnicos, é do tipo Revisão Bibliográfica, no qual proporciona uma síntese de conhecimento e a incorporação dos resultados de estudos significativos, fundamentado em diversas pesquisas já publicadas.

Procedimentos Metodológicos

Para a realização deste estudo, a primeira etapa foi a organização do problema a ser pesquisado, para posteriormente avaliar e aplicar todo o máximo do material bibliográfico disponível, uma vez que o tema deve conter relevância tanto teórica como prática e proporcionar interesse de ser estudado.

Nesse sentido, foi utilizado trabalhos científicos, acerca do tema, através de plataformas científicas, como *Scielo* e o Google Acadêmico, no período indeterminado, tendo as seguintes

palavras-chave: “Resíduos Sólidos”, “Tecnologia de Tratamento”, “Incineração” e “Compostagem”.

No que se refere a delimitação temporal, o presente trabalho realizará uma pesquisa sobre o tema nos últimos 10 anos. Critérios de inclusão: estudos encontrados na base de dado escolhida, publicados em período indeterminado, utilizando os descritores já citados. Critérios de exclusão: artigo noticiosos, textos em resenhas, artigos não indexados, opiniões, editoriais ou manuais.

Os resultados desta pesquisa gerarão um conjunto inicial de documentos, que filtraremos os resultados iniciais da pesquisa a partir da leitura do título e do resumo. Todos os artigos encontrados, relacionados ao tema, foram incluídos na análise, independentemente de ser o assunto principal do artigo ou apenas mencionado no resumo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Compostagem

A compostagem é um processo biológico usado no tratamento e na estabilização de resíduos, para a produção de húmus a partir da mistura de restos de alimentos, frutos, folhas, esterco e palhadas, em que se obtêm, no final do processo, um adubo orgânico homogêneo, de cor escura, estável, solto, pronto para ser utilizado em culturas agrícolas, proporcionando uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SOUZA et al., 2020).

De acordo com Valente et al. (2010, p. 59), “a eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada a fatores que proporcionam condições ótimas para que os microrganismos aeróbios possam se multiplicar e atuar na transformação da matéria orgânica”. Para realizar uma boa compostagem, existem alguns fatores que são imprescindíveis para a formação do fertilizante orgânico, como a temperatura; o requerimento de oxigênio ou taxa de aeração; o conteúdo de água; os nutrientes; o tamanho da partícula e o pH (PAIVA et al., 2010).

A compostagem possui diversas vantagens, tendo em vista que recicla e reaproveita resíduos sólidos, através da modificação das características do material em produtos ricos em nutrientes e úteis para agricultura, por exemplo (CRUZ et al., 2019). Nesse contexto, o Quadro 1 apresenta as principais vantagens dessa tecnologia de tratamento de resíduos sólidos.

Quadro 1: Vantagens da compostagem como tecnologia de tratamento de resíduos sólidos.

| Autores | Título | Vantagens |
|--|--|--|
| Ressetti e Campos (2020) | Aceleração do Processo de Compostagem. Uma revisão | Baixo custo no tratamento de resíduos sólidos, quando comparado com outras tecnologias utilizadas no Brasil. |
| Pereira e Gonçalves (2011) | Compostagem doméstica de resíduos alimentares | Aumento da umidade do solo em períodos secos; evita a erosão solo; corrobora com as propriedades biológicas do solo; aumenta a permeabilidade do solo, favorecendo o estabelecimento de minhocas e besouros, os quais possibilitam o desenvolvimento da terra, fornecimento de macronutrientes e fornecimento de micronutrientes. |
| Costa et al. (2015) | O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos | Rápida ação microbiana sobre a matéria orgânica, oxidando-a e tornando-a estável com pouca liberação de odores; Higienização dos materiais em tratamento devido às reações exotérmicas na decomposição, possuindo boa eliminação de microrganismos; utiliza pouca quantidade de energia externa para funcionar, em comparação com outras metodologias tendo em vista que grande parte da energia utilizada provém do próprio processo metabólico; flexibilidade em escala de operação; produção de compostos fertilizantes orgânicos, os quais não contaminam águas subterrâneas ou superficiais, ao contrário dos químicos; tratamento mais barato. |
| Oliveira (2019) | Compostagem doméstica, uma solução para os resíduos sólidos urbanos | Melhora da saúde do solo; Economia de tratamento de efluentes; Redução do odor; aumenta o número de minhocas, insetos e microrganismos; aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão; mantém a temperatura e os níveis de acidez do solo; dificulta a germinação de plantas invasoras; aproveitamento de resíduos sólidos urbanos; processo ambientalmente seguro. |
| Trentin, Reffatti e Sereia (2021) | Educação ambiental e reutilização de resíduos orgânicos: uso de compostagem em um Colégio da Rede Estadual do Paraná | Diminuição de mau cheiro nas lixeiras; produção de adubo orgânico; prevenção de animais vetores de doenças. |
| Brentano, Podewils e Neves Pedruzzi (2018) | Promovendo a Educação Ambiental através da compostagem domiciliar | Melhora a qualidade do solo, bem como ameniza a contaminação e poluição ambiental; estimula o exercício à cidadania pela contribuição na diminuição do lixo destinado aos aterros sanitários e lixões; colabora com a eliminação de forma gradual de fertilizantes químicos utilizados em culturas, tendo em vista que há uma melhora expressiva da qualidade do solo com o uso dessa tecnologia; economiza |

| | | |
|--|--|--|
| | | espaços físicos em aterros sanitários; recicla os nutrientes e elimina agentes patogênicos dos resíduos domésticos |
|--|--|--|

Fonte: Autores (2021).

Através do Quadro 1, verifica-se que essa tecnologia pode possibilitar diversos ganhos ambientais, sociais e econômicos, visto que evita que esses resíduos sólidos sejam despejados em lixões ou ocupem espaço em aterros sanitários, bem como pode gerar diversos benefícios econômicos, com a redução do uso de fertilizantes químicos para melhoramento da qualidade do solo em plantações, maior produtividade e aproveitamento melhor dos recursos.

No entanto, na literatura encontra-se algumas desvantagens dessa tecnologia, como exemplo a necessidade de manutenção, pois como afirma Ferreira et al. (2019), é preciso pelo menos uma vez por semana à adição de casca de arroz para melhorar a drenagem e oxigenação, bem evitar a propagação de moscas. Para Manciuola et al. (2017), a compostagem pode ocasionar aumento de sais no solo, além de aumentar a quantidade de organismos causadores de doenças, como moscas e outros insetos; bem como moléculas orgânicas tóxicas, metais pesados nos resíduos; e presença de Zinco, Cobre e Níquel, que em grande quantidade prejudicam o desenvolvimento vegetal.

Incineração

A incineração de Resíduos Sólidos Urbanos é um método bastante utilizado na destinação final dos resíduos sólidos em áreas urbanas, em que aplica alta temperatura de fornos para queimar correntes de resíduos, no qual entram em combustão completa, garantindo o tratamento sanitário, bem como a destruição de componentes orgânicos (MORAES, 2015).

Essa tecnologia de tratamento está relacionada à eliminação de contaminantes altamente persistentes, tóxicos e inflamáveis, como solventes e óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas e produtos farmacêuticos (GOMES MOL, 2011). Os tipos mais comuns de incineradores são: de forno rotativo, de injeção líquida, de leito fixo, e de leito fluidificado (ANDRADE, 2012).

Para Santos (2011), no procedimento de incineração, o resíduo sólido apresenta uma diminuição do seu volume, do seu peso, bem como de suas características perigosas iniciais, por meio da combustão controlada. O autor complementa ao afirmar que essa tecnologia é considerada como um processo de reciclagem energética, em que a energia presente nos resíduos, liberada na queima, é reciclada. Verifica-se pela literatura que a incineração é o tratamento adequado para resíduos contaminantes ou tóxicos, sobretudo de hospitais, portos,

aeroportos, lixo industrial perigoso e resíduo da agropecuária, tendo em vista que elimina agentes biológicos, químicos e físicos (COUTINHO et al., 2011).

De acordo com Andrade (2012), há reações de oxidação e de decomposição dos resíduos presentes no incinerador, no qual acontece a oxidação ou combustão de compostos orgânicos, liberando calor, que é transferido para os gases e para o material sólido, nos casos da transferência para os gases, pode ser aproveitado na saída do forno, usando-se trocadores de calor. O autor afirma que os incineradores são fundamentalmente reatores com câmaras de alta temperatura e atmosferas oxidantes.

No processo de incineração, os resíduos são transformados em três produtos: cinzas, gases da combustão e calor. As cinzas são formadas por constituintes inorgânicos que estavam presentes nos resíduos, podendo serem carregadas pelos gases da combustão. Já os gases da combustão precisam de um tratamento apropriado para reduzir a concentração de alguns poluentes gasosos, bem como reduzir a quantidade de material particulado antes de serem emitidos para atmosfera (SILVA et al., 2014).

Tratando-se de uma tecnologia que emprega a decomposição térmica em altas temperaturas, a incineração apresenta como uma das suas principais vantagens a redução drástica, estimado de até 90%, do volume e massa de resíduos sólidos a serem descartados (PEDROSA et al., 2015; MORETTO; FERNANDES, 2019).

Em harmonia com Moraes (2016), Gouveia e Prado (2016) afirmam que essa tecnologia reduz os custos de logística e gerenciamento do lixo, além de prevenir o crescimento de bactérias patogênicas, reduzir odores e a proliferação de vetores de doenças, amplamente presentes nos resíduos orgânicos. Além de ser eficiente no tratamento de Resíduos Sólidos da Saúde-RS pela destruição eficiente de vírus e bactérias (PEDROSA et al., 2015)

Concomitante, o tratamento térmico por incineração incorpora o aproveitamento energético, em um processo de autocombustão que possibilita a recuperação de energia que pode ser usado na produção de eletricidade (COELHO; LUSTOSA, 2013; MORAES, 2016; LEITE, 2017; SANTOS; SILVA, 2021).

Contrapondo-se a isso, a literatura apresenta dispares desvantagens do processo de incineração dos RS: Elevados custos de implantação e operação do sistema, exigência de mão de obra qualificada, emissões atmosféricas de substâncias tóxicas, cinzas tóxicas, inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva pelo baixo poder calorífico e

necessidade de disposição adequada da escória (GOUVEI; PRADO 2016; MORAES, 2016; MORETTO; FERNANDES, 2019).

Ademais, uma das maiores incongruências do tratamento por incineração no Brasil, é apontada pela dificuldade de conciliar programas de coleta seletivas, definida na Lei Federal Nº 12.305/2010, com as tecnologias de redução de volume e uso dos RS para aproveitamento energético (MORAES, 2016). Uma vez que, nesse processo é exigido matérias de alto poder calorífico (MORETTO; FERNANDES, 2019), os resíduos recicláveis são justamente os empregados para manter a autocombustão.

Para Gutberlet (2011), a implantação de tratamento de resíduos sólidos por incineração no Brasil, amplia as dificuldades enfrentadas pelos catadores de material reciclável, pois inviabiliza a coleta, transformação, venda e reciclagem. O autor acrescenta que essa atividade oferece oportunidades para a inclusão social com resgate da cidadania, assim, a implantação de tecnologias térmicas gera percas diversas, uma vez que, além de gerar emprego, a coleta seletiva e a reciclagem geram benefícios ambientais que podem ser quantificados economicamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo buscou realizar uma breve revisão de literatura sobre a tecnologia de tratamento compostagem e incineração. Verificou-se que a compostagem possui grande potencial no tratamento de resíduos, possibilitando ganhos ambientais, sociais e econômicos, diminuindo a quantidade de resíduos em lixões ou em aterros sanitários, bem como gera vários ganhos financeiros quando aplicados na agricultura, através da diminuição de fertilizantes químicos. Além disso, constatou-se poucas desvantagens, no qual pode causar algum prejuízo pela falta de manutenção ou quando é utilizado os produtos gerados em excesso na agricultura.

Verificou-se que a incineração é uma tecnologia amplamente utilizado na destinação final dos resíduos sólidos em áreas urbanas, especialmente no tratamento de resíduos hospitalares e industriais, no qual é aplicado altas temperatura para garantir o tratamento sanitário e a destruição de componentes orgânicos.

Constatou-se que, uma das principais vantagens dessa tecnologia, é a redução do volume e massa de resíduos sólidos a serem descartados, aproximadamente de até 90%. Além disso, há uma redução dos custos de logística e gerenciamento dos resíduos, bem como previne o crescimento de bactérias patogênicas, reduz odores e a proliferação de vetores de doenças.

Sendo assim, espera-se que o presente trabalho colabore com a literatura científica sobre tecnologias de tratamento, servindo de base para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS:

ABRAMOVAY, Ricardo; SPERANZA, Juliana Simões; PETITGAND, Cécile. Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera. **São Paulo: Planeta sustentável: Instituto Ethos**, p. 22, 2013.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em: http://abrelpe.org.br/pdfs/panorama/panorama_abrelpe_2017.pdf. Acesso em 28 out. 2021.

ANDRADE, Carlos Eduardo Silva. **Análise e caracterização de cinzas do processo de incineração de resíduos de serviço de saúde para reaproveitamento**. 2012. 74 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

BATISTA TRENTIN, A.; REFFATTI, P. R.; APARECIDA DE OLIVEIRA SEREIA, D. Educação ambiental e reutilização de resíduos orgânicos: uso de compostagem em um colégio da rede estadual do Paraná. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 20, p. 6-18, 2021.

BRENTANO, Cláucia; PODEWILS, Tamires Lopes; DAS NEVES PEDRUZZI, Alana. Promovendo a Educação Ambiental através da compostagem domiciliar. **RELACult-Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**, v. 4, n.1, p.1-10, 2018.

CARDANO, Mario. Manual de pesquisa qualitativa. A contribuição da teoria da argumentação. Tradução: Elisabeth da Rosa Conill. **Rio de Janeiro: Vozes**, 2017.

CARDOZO, Bárbara Cristina; MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto. Análise do monitoramento ambiental da incineração de resíduos sólidos urbanos na Europa e a necessidade de alterações na legislação brasileira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 123-131, 2021.

CARVALHO, Maria Cecília M. **Construindo o saber: Metodologia científica-Fundamentos e técnicas**. Papirus Editora, 2021.

COELHO, Thaysi Castro; SERRA, Juan Carlos Valdés; LUSTOSA, Jordanna Barreira. Alternativa de tratamento de resíduos sólidos e geração de energia através de fornos de queima: uma análise. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 1, p. 79-89, 2013.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos| The process of composting and its potential in the recycling of organic waste. **Revista Geama**, v.1, n.2, p. 246-260, 2015.

COUTINHO, RMC et al. Incineração: uma alternativa segura para o gerenciamento de resíduos sólidos. In: **International Workshop | Advances in Cleaner Production**, v.3, n.1, p.1-8, 2011.

CRUZ, Rafaelle Fonseca et al. A aplicabilidade do chorume oriundo do processo de compostagem biofertilizante orgânico para agricultura sustentável. **Nature and Conservation**, v. 12, n. 3, p. 37-48, 2019.

FERREIRA, Jose et al. As vantagens e desvantagens de dois sistemas de coleta de resíduos sólidos orgânicos. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 2, 2019.

GOMES MOL, Marcos Paulo. **A incineração de Resíduos de Serviços de Saúde do município de Belo Horizonte/MG e a responsabilidade compartilhada**. 2011. 129 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

GOMES, Luciana Paulo et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 449-462, 2015.

GOMES, Stéfano Bruno Vieira; ROCHA, Marcelo Borges. Estudo de Impactos dos Resíduos Sólidos Em Unidades de Conservação: o Caso da Trilha do Estudante. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 10, p. e428101412-e428101412, 2019.

GOUVEIA, Nelson; PRADO, Rogério Ruscitto do. Análise espacial dos riscos à saúde associados à incineração de resíduos sólidos: avaliação preliminar. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, p. 3-10, 2010.

GUTBERLET, Jutta. O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em detrimento da sustentabilidade. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-16, 2011.

KINASZ, Tânia Regina; MORAIS, T. B. Resíduos sólidos em unidades de alimentação e nutrição e o desperdício de alimentos. **Rio Grande do Sul: Educs**, p. 165-93, 2018.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica**. Editora Vozes, 2016.

LEITE, Clauber Barão. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético: avaliação econômica entre as tecnologias de digestão anaeróbia e incineração**. 2017. 117 f. Tese de Doutorado- Universidade de São Paulo, 2017.

MACHADO, Camila Frankenfeld. **Incineração: uma análise do tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP**. 2015. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso - UFRJ/Escola Politécnica, 2015.

MANCIULEA, Ileana et al. Composto à base de resíduos de biomassa usados como biofertilizantes ou como sorventes. In: **Conferência sobre Energia Sustentável**. Springer, Cham, p. 566-585, 2017.

MORAES, José Laécio. Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 3, p. 173-180, 2015.

MORETTO, Sara Rachel Orsi; FERNANDES, João Carlos. III-212-Tecnologias para o Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. V. 30., n.1, p.1-13, 2019.

NETO, João Augusto Máttar. **Metodologia científica na era da informática**. Saraiva Educação SA, 2017.

OLIVEIRA, Liliane Tavares de. **Compostagem doméstica: uma solução para os resíduos sólidos urbanos**. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Fluminense, 2019.

PAIVA, Ed Carlo Rosa et al. Comportamento do pH e da temperatura do material durante a compostagem de carcaça de frango com diferentes materiais orgânicos. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, v.1, n.1, p. 1-8, 2010.

PEDROSA, Michelly Rodrigues et al. III-222–Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 28., n.1, p.1-5, 2015.

PEREIRA, Adolfo Plínio; GONÇALVES, Mônica Maria. Compostagem doméstica de resíduos alimentares. **Revista Científica do UNIFAE**, v.5, n.1, p. 12-17, 2011.

PEREIRA, Sheila. **Análise do aproveitamento energético a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos em Florianópolis/SC**. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade do Sul de Santa Catarina, 2021.

PIRES, Adriano Borges. **Análise de viabilidade econômica de um sistema de compostagem acelerada para resíduos sólidos urbanos**. 2011. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Passo Fundo, 2011.

PRATES, Luisa Ferolla Spyer; PIMENTA, Cristiane F.; RIBEIRO, Henrique F. Alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos. **Apprehendere**, v. 1, n. 2, p.1-6, 2019.

REIS, Felipe Bastos; FERNANDES, Palloma Renny Beserra. A reutilização de resíduos sólidos na economia circular: estudo de caso no mercado de calçadista. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 48456-48470, 2021.

RESSETTI, Rolan Roney; CAMPOS, Sandro Xavier. Aceleração do Processo de Compostagem: Uma revisão. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-12, 2020.

RODRIGUES, Vitor et al. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas. **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. Resende-RJ**, v.11, n.1, p.1-10, 2014.

SANTOS, Adriano Ferreira. **Cogeração de Energia Elétrica Dentro do Processo de Incineração de Resíduos**. 2021. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário de Goiás, 2021.

SANTOS, Guilherme Garcia Dias. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros**. 2011. 208 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, Guilherme Garcia Dias. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterros**. 2011. 208 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

SILVA, E. R. et al. Estimativa do potencial de conversão energética de resíduos sólidos urbanos através do processo de incineração. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 18, p. 09-16, 2014.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira de; ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, v. 18, p. 243-264, 2015.

SOUZA, Luan Alves et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 3, 2020.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arquivos de zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2010.

VITAL, Adriana de Fátima Meira et al. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos e produção de biofertilizante enriquecido. **Revista Saúde & Ciência Online**, v. 7, n. 2, p. 339-351, 2018.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS EM RESERVATÓRIO HÍDRICO NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB

Igo Marinho Serafim Borges
Jasmyne Karla Vieira Souza Maciel
Jéssica Araújo Silva
Viviane Farias Silva

RESUMO

A água é um recurso natural de fundamental importância para todos os seres vivos. Sendo assim, o presente artigo foi realizado objetivando-se esclarecer o conflitos do uso da água do açude do Bodocongó em Campina Grande – PB, bem como evidenciar a situação de vulnerabilidade da população que faz uso dessas águas e os agentes que poluem o açude de maneira ilegal, afim de propor soluções que sejam capazes de garantir a segurança hídrica dessas pessoas e a restauração do equilíbrio ambiental do açude. A metodologia aplicada foi de forma primária realizada *in loco*, que teve contato direto com o ambiente de estudo, além disso foi aplicado análise de qualidade físico-química e microbiológica da água do açude de Bodocongó para mensurar os possíveis resultados encontrados. Desta forma, os resultados obtidos nas amostras evidenciaram a não potabilidade da água do açude por apresentarem padrões irregulares segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente. Destaca-se com um dos principais agentes responsáveis por isso o ser humano, que além de poluírem a água, contaminam o solo com diversas substâncias, causam danos à saúde da população, fauna e flora da região, aumentando a degradação ambiental no entorno do corpo hídrico gerando impactos negativos ao meio ambiente. Conclui-se que a degradação ambiental presente no açude é causada principalmente pelas ações antrópicas e que o mesmo desgaste ambiental culmina em problemas sociais.

PALAVRAS-CHAVES: Uso da água; Vulnerabilidade social; Segurança hídrica; Degradação ambiental.

INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para subsistência da vida humana e de qualquer outra forma de vida presente nos ecossistemas e biomas. A água está atrelada não só a saúde humana, mas também a qualidade de vida; segundo a FUNASA (2019) o acesso aos serviços de abastecimento de água devem atingir todos os brasileiros e de maneira adequada; que nada mais é que água potável em quantidade suficiente, de forma regular, prática e disponível a um preço econômico.

A segurança hídrica que cada brasileiro tem direito, está também disposta, na lei Nº 11.445 (2007), que em seus princípios fundamentais determina que o abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos sejam realizados de forma

adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente e em sua integralidade, compreendida como o conjunto de atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento que propicie à população o acesso a eles em conformidade com suas necessidades e maximize a eficácia das ações e dos resultados. A lei Nº 9.433 (1997) que institui a política nacional de recursos hídricos, também assegura o direito dos brasileiros ao abastecimento de água, por meio de seus objetivos, que visam assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

O homem necessita de água com qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender as necessidades, para proteção da saúde e para propiciar o desenvolvimento econômico (TRATA BRASIL,2012). Porém, a distribuição de água doce se dá de maneira irregular ao longo das extensões territoriais do planeta, onde somente 0,3% do volume total hídrico do planeta pode ser aproveitado para nosso consumo, sendo 0,01% encontrada em fontes de superfície (rios, lagos) e o restante, ou seja, 0,29%, em fontes subterrâneas (poços e nascentes). Apesar do Brasil ser detentor de 14% das reservas de água, a concentração destas reservas também ocorre de maneira desproporcional, setenta por cento da água brasileira estão na região Norte, onde está situada a bacia amazônica e vivem apenas 7% da população, e apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população (MACHADO, 2003).

Assim, o uso e distribuição da água no Brasil assume um papel fundamental na vida dos brasileiros e governança do país. Para Wolkmer e Pimmel (2013), este recurso é um patrimônio natural estratégico, sendo um recurso imprescindível à produção de bens e indispensáveis ao desenvolvimento econômico e social. Além dos impasses associados à distribuição e disponibilidade da água doce, tem-se os problemas atrelados a potabilidade da água que é usada no consumo, muitos brasileiros vivem em condições de insegurança hídrica, onde precisam consumir uma água insalubre e até mesmo se deslocar para obter esse recurso. A Funasa (2019) destaca que a salubridade ambiental é o estado de hígidez em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere à sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente. O saneamento é um dos meios capazes de promover um ambiente salubre, que favorece condições de sobrevivência e qualidade de vida, quando devidamente implantado e adequado às características locais.

Apesar de ser um direito constitucional assegurado a todos os brasileiros, o acesso e a universalização do saneamento está longe de ser uma realidade para todos. Para agravar ainda mais a situação, a noção de saneamento assumiu conteúdos distintos de acordo com a cultura,

em função da relação existente entre homem e natureza, e também de acordo com a classe social, em função das condições materiais de existência e dos níveis de informação e de conhecimento (FUNASA, 2019). Dificultando ainda mais a situação, Campos e Fracalanza (2010) apontam que muitas vezes, as políticas públicas relacionadas à água priorizam determinados usos dos recursos hídricos que se relacionam a atividades econômicas específicas, sem interface com os problemas distributivos do recurso que dizem respeito às populações socioeconomicamente vulneráveis. Isso coloca ainda mais as populações vulneráveis socioeconomicamente a margem dos serviços públicos, que visam garantir uma qualidade de vida e um ambiente sadio.

Deve ainda ser levado em consideração para o agravamento da crise hídrica que atinge vários brasileiros, a conservação dos recursos hídricos naturais, que devido a pressão antrópica e da expansão das atividades industriais, mudou as características naturais de rios, riachos, canais e lagoas, sofrendo com assoreamento, aterramentos e desviados abusivamente, e até mesmo canalizados; suas margens foram ocupadas, as matas ciliares e áreas de acumulação suprimidas. Imensas quantidades de lixo acumulam-se no seu interior e nas encostas desmatadas, sujeitas à erosão (MACHADO,2003).

Desse modo, evidencia-se que a crise da água envolve fatores múltiplos e alcança parcelas da sociedade de maneiras distintas. Wolkmer e Pimmel (2013), destacam que os conflitos envolvendo a água vem sendo apontados por muitos como a possível causa das disputadas deste século, cuja escassez provocaria guerra entre países, da mesma forma que o petróleo tem causado desde o século passado. Certamente, muitos dos efeitos que esta crise pode causar, já são percebidos na poluição, bem como na quantidade disponível desse recurso.

Por isso, Campos e Fracalanza (2010) ressaltam a importância de tratar a participação social a partir de um ponto de vista político, porque assim se pode chamar a atenção para os conflitos envolvendo os usos da água, alertando para a desigualdade na apropriação da mesma e para as dificuldades da real participação nos mecanismos de gestão dos recursos hídricos. Logo, refletir a governança global da água é sem dúvida fundamental para moldar a realidade que enfrentamos em direções que garantam a todos o acesso e uso da água de maneira suficiente e potável. Esse fator evidencia problemas sociais e ambientais em diversos municípios paraibanos como é o caso do município de Campina Grande ao utilizar e tratar de forma incorreta os recursos hídricos (PEREIRA, 2012).

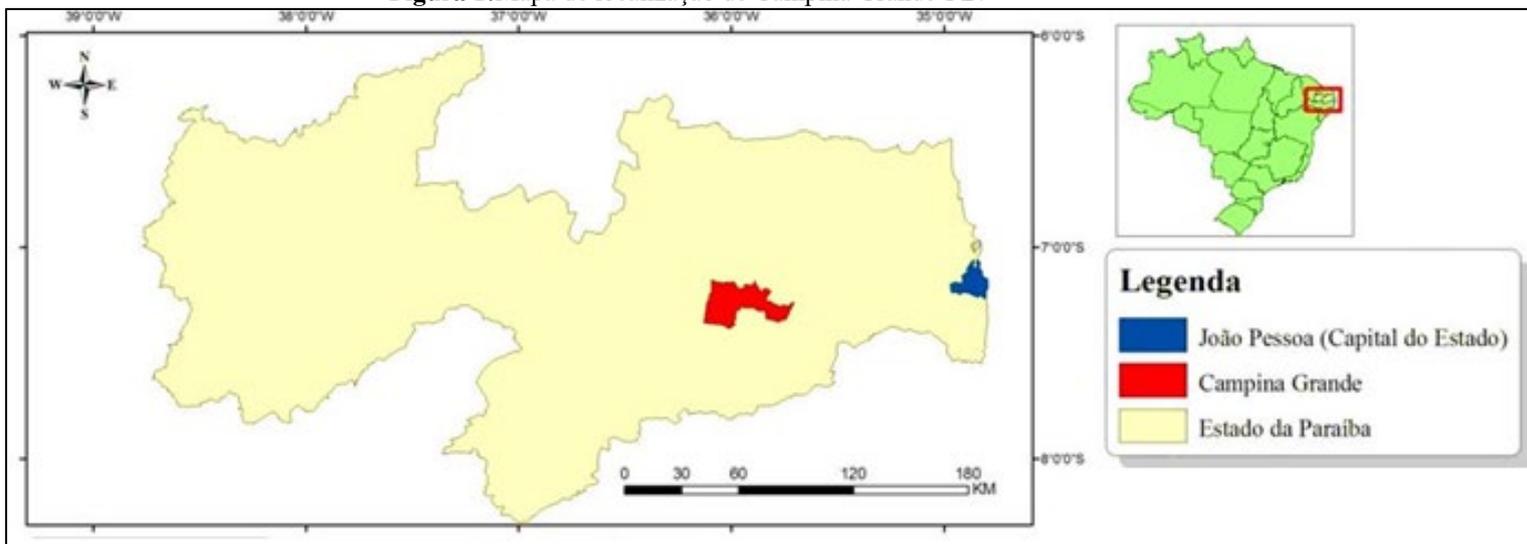
O artigo foi realizado objetivando-se esclarecer o conflitos do uso da água do açude do Bodocongó em Campina Grande – PB, bem como evidenciar a situação de vulnerabilidade da população que faz uso dessas águas e o agentes que poluem o açude de maneira ilegal, afim de propor soluções que sejam capazes de garantir a segurança hídrica dessas pessoas e a restauração do equilíbrio ambiental do açude.

METODOLOGIA

Localização e mapeamento da área de estudo (Conflito)

O município está incluído na área geográfica de abrangência do clima semiárido brasileiro, definida pelo Ministério da Integração Nacional em 2005. Esta delimitação tem como critérios o índice pluviométrico, o índice de aridez e o risco de seca. O açude de Bodocongó está situado na cidade brasileira de Campina Grande no estado da Paraíba (**Figura 1**), e foi originalmente criado devido à escassez hídrica na região, uma vez que os açudes Novo e Velho já não estavam suprindo as necessidades da população. Além do mais, ele fica muito distante dos açudes Novo e Velho, podendo abastecer a população circunvizinha.

Figura 1: Mapa de localização de Campina Grande-PB.



Fonte: Marinho et al, 2021.

Vale ressaltar, que no início de sua criação, as áreas circunvizinhas do açude não apresentavam a dinâmica populacional que apresenta nos dias atuais. O aumento urbano da região fez com que muitas construções e moradias começassem a se instalar ao seu redor, causando problemas ambientais diversos.

O açude de Bodocongó localiza-se nas coordenadas geográficas de Latitude: (-7.2137) e Longitude: (-35.9171) estando presente na área urbana do município de Campina Grande, na

mesorregião do Agreste Paraibano, zona oriental do Planalto da Borborema, na bacia do Médio Paraíba (Figura 2).

Figura 2: localização do açude de Bodocongó em Campina Grande-PB.



Fonte: própria dos autores, 2021.

Na Figura 2, observa-se a localização exata do açude de Bodocongó, que fica situado no bairro de Bodocongó, onde a norte do açude encontra-se a Universidade Estadual da Paraíba, a leste da Universidade Federal de Campina Grande, as demais coordenadas são compostas pelos bairros de Bodocongó I e II e pelo bairro Universitário.

Clima da região de Campina Grande

Campina Grande tem verão longo, quente e de céu quase encoberto; o inverno é curto, agradável, com precipitação e de céu quase sem nuvens. Durante o ano inteiro, o tempo é abafado e de ventos fortes. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 19 °C a 32 °C e raramente é inferior a 17 °C ou superior a 34 °C (DANTAS, SANTOS e OLINDA, 2015), como mostra a **tabela 1**.

Tabela 1: Dados climatológicos para Campina Grande.

| Mês | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Ano |
|-----------------------------------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura máxima recorde (°C) | 34,9 | 34,7 | 34,6 | 34,3 | 32,8 | 31,9 | 30,4 | 31,9 | 32,1 | 34 | 34,6 | 34,1 | 34,6 |
| Temperatura máxima média (°C) | 30,7 | 30,5 | 30,1 | 29,1 | 27,7 | 26 | 25,6 | 26,3 | 28 | 29,8 | 30,5 | 30,8 | 28,8 |
| Temperatura média compensada (°C) | 24,7 | 24,7 | 24,7 | 24,3 | 23,4 | 22,1 | 21,5 | 21,5 | 22,5 | 23,5 | 24,2 | 24,5 | 23,5 |
| Temperatura mínima média (°C) | 21,2 | 21,3 | 21,4 | 21,1 | 20,5 | 19,3 | 18,6 | 18,5 | 19 | 19,9 | 20,4 | 20,9 | 20,2 |
| Temperatura mínima recorde (°C) | 16,2 | 14,2 | 17,3 | 16 | 16 | 14,6 | 13,3 | 13,2 | 13,7 | 14,2 | 14,8 | 15,3 | 13,2 |
| Precipitação (mm) | 45,6 | 62,8 | 107,1 | 89,3 | 101,7 | 123,6 | 96,7 | 80,1 | 30 | 12,5 | 12,3 | 15,3 | 777 |

Fonte: Climate-date, 2021.

O clima predominante é conhecido como um clima de estepe local. O ano tem pouca pluviosidade. A classificação do clima é BSh segundo Martins et al., (2018). 23.5 °C é a temperatura média em Campina Grande. A pluviosidade média anual é 503 mm.

Nesse contexto, vale ressaltar que a construção do açude de Bodocongó começa a ser feita no ano de 1915 e apenas no dia 15 de janeiro de 1917 finalizado sua obra, sendo entregue à população em 11 de fevereiro do mesmo ano. O reservatório de água surge com o objetivo de mitigar os problemas da seca que assolava a região de Campina Grande (OLIVEIRA et al., 2019).

Mesmo o açude sendo construído com a finalidade de abastecimento público, o alto teor de salinidade inviabilizou seu uso para o consumo. Atualmente esse corpo hídrico tem se tornado o destino final de efluentes das mais variadas naturezas, bem como de origem industrial, doméstica e diversos outros que são trazidos pela chuva sem nenhum tratamento prévio (NEPONUCENO et al, 2018).

Atores do conflito

Conflitos de primeira ordem

A poluição do açude de Bodocongó ocorre principalmente pelos resíduos de origem urbana que surgiram com o aumento da população local. Desta forma, pode-se destacar a entrada de efluentes de esgoto doméstico, industrial e rejeito de água usada para lavagem de

carros como algumas das problemáticas que levam o reservatório a apresentar degradação ambiental (LEONEL, 2018).

Como conflitos de primeira ordem, destaca-se a falta de infraestrutura sanitária e tratamento de esgoto da região, e como um dos principais responsáveis dessa problemática encontra-se a falta de assistência governamental do município de Campina Grande e da fiscalização do ministério público quanto ao despejo impróprio do esgoto sanitário às margens do açude (MACHADO, 2003).

Conflitos de segunda ordem

Vale salientar, que decorrentes dos conflitos primários surgem os conflitos secundários. A entrada dos resíduos sólidos transportados pelas tubulações de esgoto e pela chuva no período do inverno acaba sendo uma condição de conflito ambiental, visto que os mesmos resíduos além de causar a impotabilidade das águas, influência diretamente no processo de assoreamento do reservatório (LEONEL; 2018, COSTA; ABREU, 2018). Podendo então contribuir para a redução do volume acumulado e, conseqüentemente, para a redução da vazão, na elevação dos valores de turbidez, nos danos a biodiversidade com arraste e aterramento de microrganismos, os quais servem de alimentos para a vida aquática.

A água do açude de Bodocongó não atinge diversos dos critérios de potabilidade da água. São mais de 90 parâmetros requisitados pela Portaria de Consolidação nº 05. Além disso, deve haver monitoramento semestral dos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 nos mananciais onde captamos água para tratamento e da Resolução CONAMA 396/08 para as captações de água para abastecimento (SANTOS; SANTOS; SILVA, 2018).

Nessas condições, a água do açude de Bodocongó só pode ser utilizada para atividades antrópicas posterior a uma análise e tratamento da mesma. No entanto, as condições de desigualdade socioeconômica da população, a água e todo o meio biótico desta região ganha lugar na atividade de geração de renda e do uso diário das famílias carentes para fins domésticos, fazendo dessa água um forte aliado a sobrevivência. Essa condição acontece não pelo descaso da população ao uso regular de água tratada, mas sim pela falta de condições financeiras a esse serviço de saneamento básico (OLIVEIRA et al., 2015).

Coleta dos dados Físico-químicos e microbiológica das águas do açude do Bodocongó

As amostras de água foram coletadas no açude de Bodocongó, na cidade de Campina Grande no período do início de chuva na região, com precipitação média 62,8mm no mês de fevereiro e 107,1mm no mês de março de 2021 e posteriormente essas análises foram

comparadas com as obtidas em 2019 no mesmo local, período e meses. Após coleta em cinco pontos distintos do açude, com o objetivo de obter amostras representativas, a água foi armazenada adequadamente em recipientes estéreis e posteriormente levadas ao Laboratório de Saneamento Básico da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Para a realização de todos os experimentos de análise, as mesmas condições foram mantidas com objetivo de manter o máximo possível de confiabilidade dos resultados. Desta forma, os equipamentos e vidrarias utilizadas para a leitura dos parâmetros foram utilizadas em todas as análises. Para tanto, todas as análises foram realizadas em triplicata para todos os parâmetros investigados.

As análises físico-químicas foram determinadas de acordo com as normas (APHA, 2005). Para a coleta foi utilizado um recipiente de 2000mL, devidamente identificado. Na sequência, foram realizadas as análises dos seguintes parâmetros: pH, Turbidez (NTU), Cor, e Temperatura (**Tabela 2**). Em seguida os valores obtidos foram comparados com os valores estabelecidos pela portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (OLIVEIRA et al., 2018)

Tabela 2: Metodologias empregadas para a realização das análises da água observada.

| Parâmetro | Metodologia |
|------------------|-------------------------------------|
| Ph | Potenciometria |
| Turbidez (NTU) | Turbidimetria |
| Cor | Colorimetria |
| Temperatura | Leitura direta (termômetro digital) |

Fonte: própria dos autores, 2021.

As metodologias aplicadas para estas determinações foram: Turbidimetria para turbidez; Colorimetria para cor; Potenciometria para determinação do pH e para temperatura foi utilizada a leitura direta por termômetro digital. Os métodos utilizados estão descritos no livro de Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. A avaliação do aspecto e da presença de depósito nas amostras foi realizada por observação visual (SCORSAFAVA et al., 2010).

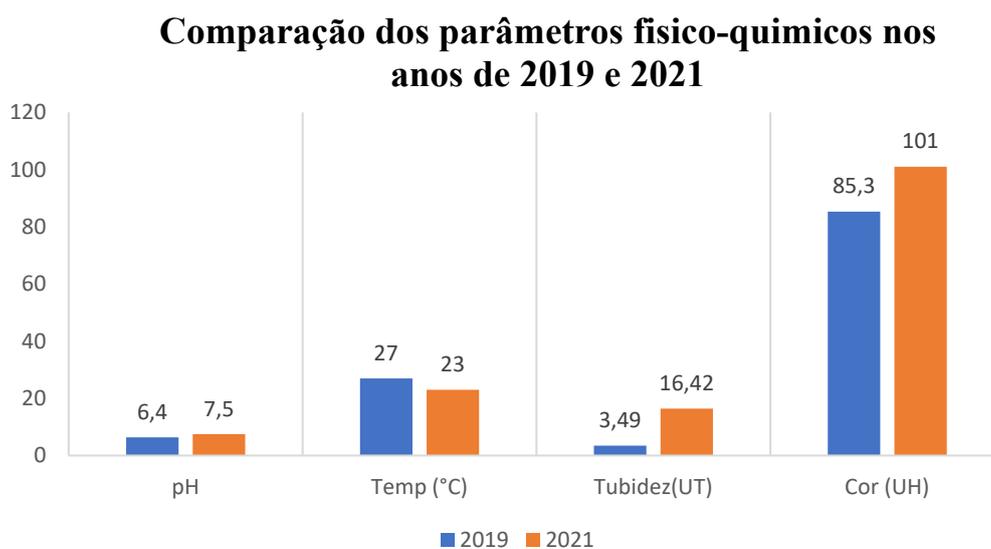
As análises microbiológicas foram determinadas pelo método enzimático de substratos definido por Colilert, segundo Baldin et al, (2016). Para a coleta foi utilizado embalagem de 100mL, estéril devidamente identificada, seguindo todos os padrões devidos para estudo microbiológico de água. Na sequência, foram incubadas a 35 °C durante 24 horas e realizados os testes para confirmação da presença de coliformes totais a 35° C e *Escherichia coli*, favorecendo os resultados por coloração e fluorescência (ALVES, ATAIDE e SILVA, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos parâmetros Físico-químicos e microbiológicos das águas do açude do Bodocongó.

Analisando os parâmetros microbiológicos – coliformes totais e *Escherichia coli* – e os físico-químicos – pH, temperatura, turbidez e cor – da água do açude de Bodocongó, foi possível diagnosticar a qualidade da mesma. Os resultados para E. Coli e coliformes totais, analisados no ano de 2021, foram respectivamente 718(NMP/100mL) e 4316 (NMP/100mL). A **figura 3** apresenta os resultados físico químicos para os anos de 2019 e 2021, e comparando os resultados dos parâmetros avaliados com os padrões exigidos pela resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, a água do açude encontra-se poluída, com elevada presença coliformes fecais e com isso, não pode ser utilizada para nenhuma das classificação estabelecidas pela resolução.

Figura 3: Resultados da análise dos parâmetros físico-químicos da água do Açude de Bodocongó nos anos de 2019 e 2021.



Fonte: Própria dos autores, 2021.

Ainda analisando os resultados encontrados na **Figura 03**, observa-se que houve um aumento significativo nos valores de turbidez e cor, e isso se deu pelo fato da intensa exploração do recurso sem nenhum manejo e cuidado. Houve o aumento das atividades ilegais desenvolvidas no açude com o passar do tempo, como lavagem de veículos carro pipa, transportadores de animais e materiais de construção, poluindo a água com substâncias como óleos e graxas, descarte de lixo, esgotos domésticos e industriais.

CONFIGURAÇÃO DO CONFLITO

As ações antrópicas realizadas no açude acabam gerando diversos conflitos socioambientais. Essas atividades, além de poluírem a água, contaminam o solo com diversas substâncias, causam danos à saúde da população e a fauna e flora da região, aumentando a degradação ambiental no entorno do Açude de Bodocongó e gerando impactos negativos que podem se tornar irreversíveis.

Com o baixo acesso aos serviços públicos na região, como abastecimento de água, esgotamento sanitário, e a escassez hídrica, a população local acaba usando a água para diversos fins como dessedentação animal, irrigação, para lavagem de veículos, pesca e atividades recreativas. Com a elevada quantidade de coliformes fecais essa água encontra-se imprópria para consumo e gera risco à saúde das pessoas, causando doenças de veiculação hídrica.

Foi realizada uma visita ao açude, e chegando ao local, nos deparamos com vários carros pipas abastecendo e alguns caminhões sendo higienizados. Essa água está sendo utilizada para abastecer as cisternas dos cemitérios da cidade de Campina Grande, que de acordo com o Portal Correio (2016), a prefeitura justificou o uso devido à crise hídrica. O que ocorre é que as pessoas que realizam a limpeza das calçadas, túmulos e irrigação das plantas do local, acabam tendo contato direto com a água contaminada, o que gera riscos à saúde. Pela **Figura 4**, nota-se a presença de carros às margens do açude, e algumas pessoas realizando a limpeza dos caminhões.

Figura 4: Caminhões e carros pipas às margens do açude de Bodocongó.



Fonte: Própria dos autores, 2021.

Observou-se a remoção da vegetação às margens do rio, e a presença de plantas rasteiras, e produção agrícola, onde foi possível ver algumas barracas e homens realizando atividades nessa produção agrícola (**Figura 5**). O assoreamento, um problema ambiental também evidente no açude de Bodocongó, é o processo pelo qual o leito de um rio ou lago se eleva em função

do acúmulo de sedimentos e detritos levados para dentro dele pela água das chuvas. Esse processo ocorre principalmente pela ação humana, dentre essas ações destacam-se o desmatamento das áreas circunvizinhas, além do mau uso do solo e da degradação da bacia hidrográfica, causada por atividades agrícolas monoculturas, ocupação irregular das margens do açude, construções irregulares, entre outras.

Figura 5: Vista das margens do açude de Bodocongó sem vegetação ripária.



Fonte: Própria dos autores, 2021.

NA figura 5, constata-se que parte do açude de Bodocongó, onde o mesmo apresenta-se sem vegetação ripária configurando uma situação de descaso ambiental principalmente com o solo da região. Pode-se perceber que existem ocupações irregulares das margens do açude pela população que reside próximo a ele, além do mais utilizam das águas do açude para irrigarem hortaliças que posteriormente são vendidos no comércio local da cidade. Vale ressaltar que essa mesma água se encontra com padrões de inadequações para o consumo humano e não deveria ser utilizada na produção orgânica de alimentos, caracterizando uma série de riscos à saúde da população que as consumirem (MELO et al., 2019).

A população da região carece de investimentos em educação ambiental, visto que, não possuem conhecimento sobre os riscos causados ao meio ambiente pelas suas ações e os riscos causados a própria população. De acordo com Araújo, Gomes e Silva (2020), a preservação da qualidade das águas deve ser de responsabilidade compartilhada por todos. Vislumbra-se, por

sua vez, que a materialização do Direito não depende apenas de textos normativos, mas da participação popular. O conhecimento e o empoderamento desse direito devem ser praticados.

Nas proximidades do açude se encontram duas universidades públicas, hospitais, cursos técnicos e várias residências. Tentando favorecer o aspecto paisagístico e urbano do local foi construído o Parque Ecológico de Bodocongó, porém é notória a falta de ambientes naturais com árvores no local e do sombreamento, favorecendo a criação de ambientes quentes. Este projeto foi inicialmente descrito nos meios de comunicação como projeto de revitalização do açude, todavia não alcançaram seus objetivos na prática. Na verdade, todas as atividades realizadas no seu entorno, nada mais é do que um contínuo processo de urbanização, que, aliado à falta de consciência da população campinense, ausência de fiscalização e a apatia do Poder Público promoverá, em curto prazo, a intensificação dos impactos negativos sobre o açude. As provas concretas estão expressas na degradação dos cursos d'água em áreas urbanizadas, a exemplo do Rio Tietê, Rio Paraíba, Açude de Boqueirão, Açude Velho, Açude Novo, entre outros. (SALVADOR E SALVADOR, 2019; ARAÚJO GOMES E SILVA, 2020).

CONCLUSÃO

Diante do exposto, vimos que o açude de Bodocongó encontra-se em estado avançado de degradação ambiental, com suas águas contaminadas devido a diversas ações antrópicas como descarte de lixo, esgotos residenciais e industriais, lavagem de veículos, retirada da vegetação às margens do açude e ao elevado processo de urbanização sem planejamento no entorno do mesmo. Devido à falta de saneamento na região, as pessoas acabam fazendo o uso dessa água e tendo contado direto, gerando diversos riscos à saúde.

É de extrema importância a recuperação do açude, e a revitalização da região próxima, onde para isso é preciso investimentos em educação ambiental, políticas públicas, monitoramento e tratamento da água, controle da poluição, melhores condições de saneamento, e a vontade por parte do poder público. Com isso, o açude, que é uma área de importância estratégica na paisagem urbana e patrimônio histórico, se tornaria um dos cartões postais da cidade de Campina Grande-PB.

REFERÊNCIAS:

Água do açude de Bodocongó abastece cemitérios de Campina Grande. Portal Correio, João Pessoa – PB, 11 de novembro de 2016. Disponível em: < <https://portalcorreio.com.br/agua-do-acude-de-bodocongo-abastece-cemiterios-de-campina-grande/>>. Acesso: 10/08/2021.

ALVES, Stella Gleyce da Silva; ATAIDE, Carla Daniela Gomes; SILVA, Joaquim Xavier da. Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. **Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, v.7, n. 1, p. 12-17, 2018.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005.1600p.

ARAÚJO, Elaine Cristina dos Santos; GOMES, Ivanise; SILVA, Monica Maria Pereira. Avaliação de impactos ambientais: urbanização do Açude de Bodocongó, Campina Grande/PB. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.787-797, 2020.

BALDIN, Juliana Cristina et al. Microencapsulated jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract added to fresh sausage as natural dye with antioxidant and antimicrobial activity. **Meat Science**, v. 118, p. 15-21, 2016.

BRASIL. **Lei no 9.433 (Política Nacional de Recursos Hídricos)**. Presidência da República Federativa do Brasil. Brasília, 8 de janeiro de 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

BRASIL; Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il.

BRASIL; Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562> > Acesso em: 08 de agosto de 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Disponível em: < http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf > Acesso em: 10 de agosto de 2021.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Disponível em: < <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf> > Acesso em: 08 de agosto de 2021.

BRASIL, Trata. **Manual do Saneamento Básico: Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**, 2012. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf> > Acesso em: 10 de agosto de 2021.

CAMPOS, Valéria Nagy de Oliveira; FRACALANZA, Ana Paula. **Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso.** *Ambiente & sociedade*, v. 13, p. 365-382, 2010.

Climate Date, 2021. disponível em <<https://pt.climate-data.org/search/?q=Campina+Grande>>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

COSTA, Ingrid Parente Parente; DE ABREU, Yolanda Vieira. ESTUDO SOBRE A POSSIBILIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS DE SANEAMENTO (LIXO, ESGOTO). **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins**, v. 5, n. 1, p. 14-25, 2018.

DANTAS, Leydson Galvêncio; SANTOS, Carlos Antonio Costa dos; OLINDA, Ricardo Alves de. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 423-434, 2015.

LEONEL, Hosana Mendes et al. LOGÍSTICA VERDE E A DESTINAÇÃO DO LODO DE ETA E ETE. **CIMATech**, v. 1, n. 5, 2018.

MARTINS, Fabrina Bolzan et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2018.

MACHADO, C. J. S. **Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Recursos Hídricos e Cidadania no Brasil: Limites, Alternativas e Desafio.** *Ambient Soc*, v. 6, n. 2, p. 121-136, 2003.

MARINHO, Simone Danielle Acirole Moraes et al. Interfaces entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 417-427, 2021.

MELO, Dayane Barros et al. Alimentos contaminados por enteroparasitas: uma questão de saúde pública. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 1, p. 277-289, 2019.

NEPOMUCENO, Thiago Cabral et al. Aplicabilidade de coagulantes a base de tanino em estações de tratamento de água. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 110-123, 2018.

OLIVEIRA, Janine Patrícia Melo et al. Saúde/doença: as consequências da falta de saneamento básico. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 23-29, 2015.

OLIVEIRA, Michael Machado et al. Análise físico-química e microbiológica de águas de poços artesanais de uso independente. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 624-639, 2018.

OLIVEIRA, Paulo Abrantes et al. Redução de evaporação de água: estudo de caso no reservatório de São Gonçalo/PB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 5, p. 204-217, 2019.

PEREIRA, Suellen Silva. REFLEXÕES SOBRE O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E A NECESSIDADE DE GESTÃO AMBIENTAL: O CASO DOS RESÍDUOS DE SERVIÇO DE

SAÚDE DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE, PB. **REUNIR Revista de Administração Contabilidade e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 87-103, 2012.

Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**, CAPÍTULO I, de 28 de setembro de 2017.

SALVADOR, Maria Do Socorro Silva; SALVADOR, Elane da Silva. **Influência das atividades antrópicas na qualidade da água do açude de bodocongó em campina grande - pb**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora, 2019.

SANTOS, Nathália Bandeira Carvalho; DOS SANTOS, Rayza Helen Graciano; DA SILVA, Ronaldo Faustino. Aplicação da Análise Multivariada e da Resolução CONAMA 357/2005 para Análise da Qualidade de Água em Rios de Pernambuco (Application of Multivariate Analysis and Resolution CONAMA 357/2005 for Analysis of Water Quality in Rivers of Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1859-1875, 2018.

SCORSAFAVA, Maria Anita et al. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 69, n. 2, p. 229-232, 2010.

WOLKMER, Maria de Fátima S.; PIMMEL, Nicole Freiberger. **Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental**. Sequência (Florianópolis), p. 165-198, 2013.

CAPÍTULO 6

QUÍMICA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL: PERCEPÇÕES DA POPULAÇÃO EM GERAL SOBRE O USO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Iuri Laurindo de Oliveira
Gleydis Manalig Pereira Dantas
José Carlos Oliveira Santos

RESUMO

Este trabalho consiste em salientar a importância do uso de biocombustíveis para geração de energia como também, trazer de certa forma para a população em geral, uma maneira mais acessível para gerar a conscientização sobre o reaproveitamento seja ele em casa ou até mesmo de uma maneira geral, e destacar o quanto ainda é necessário haver meios de reciclagem e outras alternativas para o reaproveitamento de biomassas, já que as biomassas são fontes renováveis e que não agredem o meio ambiente como os combustíveis fósseis agredem, que são eles o carvão, gás natural e o petróleo, nesta mesma perspectiva busca-se enfatizar o quanto somos dependentes do uso do petróleo para fabricação de várias coisas, dentre elas, a energia como podemos destacar na fabricação do diesel e também de outros combustíveis e materiais provenientes do petróleo. Porém, ao decorrer deste trabalho será possível notar outras alternativas para obtenção de biocombustíveis e assim gerar uma conscientização sobre o uso do petróleo, a partir de um questionário via Google Forms que contém perguntas a respeito da produção e geração de energia, com o intuito de levar de modo educativo a importância da educação ambiental a partir do ensino de química afim de conscientizar a população sobre o uso excessivo de petróleo, e de como o mesmo poderia ser substituído por fontes de energia renováveis, que emitem menos gases poluentes trazendo menores danos ambientais para o nosso planeta.

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo, Biomassas, Biocombustíveis, Reaproveitamento, Conscientização.

INTRODUÇÃO

As fontes de energias não renováveis são utilizadas a muito tempo pelo “homem”, sendo estas prejudiciais para o meio ambiente, a maior parte da energia utilizada no mundo provém do petróleo, o uso de combustíveis fósseis agrava bastante a degradação da camada de ozônio. Dentro deste contexto, o diesel ainda é muito utilizado e é nesta perspectiva que devemos levar em consideração o seu uso exacerbado e no quão prejudicial o mesmo consiste para o meio ambiente, pois, como destaca Kaplan et al.:

“O consumo brasileiro de diesel, em 2003, foi de cerca de 38 bilhões de litros e, em 2005, o Brasil ainda importava cerca de 11% de óleo diesel. Atualmente cerca de 40 bilhões de litros desse combustível são usados, ocorrendo a importação de 2 bilhões de litros por ano – o equivalente a 5% do diesel consumido” (KAPLAN et al., 2007)

Fleury et al., (2000) acredita que esse crescimento é decorrente do aumento do modal rodoviário, o que tornou a malha de estradas mais extensas, proporcionando o aumento da venda do diesel.

Através disto, gera uma rápida diminuição das reservas de combustíveis fósseis, com a extração, o transporte e os processos industriais de transformação do petróleo que está ligado a diversos danos ambientais como derramamentos, geração de resíduos e efluentes tóxicos de difícil degradabilidade, na contaminação dos lençóis freáticos por gasolina e seus aditivos, pelo acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, intensificando o efeito estufa (EREDA, 2004).

Porém, existem outros meios para se gerar energia, de forma mais limpa e sustentável para o meio ambiente. O Brasil tem um grande potencial em relação a alternativas renováveis de energia. Entretanto, há algumas dificuldades, pois, essas fontes ainda estão em desenvolvimento no Brasil.

Portanto, algumas medidas vêm sendo tomadas pensando no meio ambiente e em formas da não dependência exacerbada do petróleo e assim, alguns meios vêm sendo utilizados, que consiste no reaproveitamento de biomassas, como uma alternativa para se gerar energia, de forma que não venha a prejudicar o meio ambiente. Sendo assim, esta técnica vem crescendo bastante no Brasil, pois, com o aumento da produção de cana-de-açúcar para a geração de etanol, tal mérito está diretamente associado ao Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL), lançado em 1975 com o objetivo de incorporar o etanol no mercado consumidor e estimular a redução do uso dos combustíveis fósseis que circulam nos veículos automotores (COSTA et al., 2010).

Nesse cenário, surgem os biocombustíveis, derivados da biomassa, que possuem o potencial energético capaz de substituir parcial ou totalmente a utilização dos combustíveis derivados de hidrocarbonetos, como a gasolina e o óleo diesel (ANP, 2019). Com isso, começou a levar em consideração outros meios de reaproveitamento de biomassas para geração de energia, dentre eles destaca-se o óleo de cozinha, pois, através da transesterificação podemos obter biodiesel e diretamente ligado ao mesmo, podemos destacar o descarte da maneira incorreta, porque a maior parte do óleo de cozinha usado, é descartado no ralo da pia, acarretando vários prejuízos ambientais, á exemplo da poluição em águas e até mesmo do solo, prejudicando o plantio, dentre outros malefícios.

A transformação de algumas Biomassas em energias é relativamente simples, para transformar a biomassa em energia podemos citar alguns métodos, sendo os principais:

gaseificação, fermentação, combustão direta, transesterificação, pirólise e digestão anaeróbica. Como já foi citado, o destaque especial é para a transesterificação porque a partir dela, podemos gerar o Biodiesel, que após sua fabricação este pode ser misturado com o diesel. Além disso, a promulgação da Lei nº 11.097/05 tornou obrigatória a introdução de um percentual de biodiesel no óleo diesel, tendo iniciado com 2% em 2008 e evoluindo até a percentagem de 10% no ano de 2018 (ANP, 2019).

Dentro desse contexto, irá aumentar o crescimento dos biocombustíveis no Brasil, vale salientar no quanto estes produtos são vantajosos para o meio ambiente, pois não impactam os recursos naturais como os combustíveis fósseis. É válido ressaltar que os derivados da biomassa possuem perspectivas de aumento na produção conforme as projeções realizadas, demonstrando a importância que essas fontes terão no cenário energético de 2027.

A utilização dos biocombustíveis é muito importante, pois com a fabricação do mesmo, podemos diminuir resíduos que algumas vezes são descartados incorretamente acarretando danos à natureza, e também se cria um combustível menos poluente, que poderia substituir o petróleo futuramente, pois com o uso excessivo de combustíveis fósseis pode acarretar danos na atmosfera, como as chuvas ácidas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho tem como meio coletar dados de acordo com a percepção da população sobre biocombustíveis, na tentativa de gerar uma conscientização e enfatizar a importância do reaproveitamento de biomassas para gerar energia.

METODOLOGIA

Para a coleta de dados o método abordado consiste de um questionário virtual, a partir do *google forms* (google formulários), estruturado em seis perguntas objetivas, obtendo 61 respostas, o assunto questionado aos participantes tem como base os biocombustíveis para geração de energia.

Este questionário ficou disponibilizado no link:

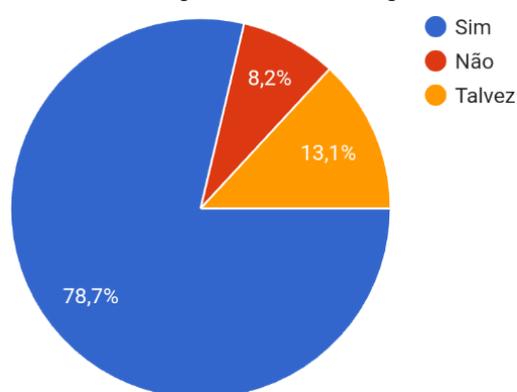
<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScTTxrCup9uSX3PX1GnPsmYbGvmhSmHIKWwqAkWXGAHkwrB/viewform>

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizamos um questionário para população em geral, na qual obtivemos 61 repostas. A primeira pergunta foi relacionada ao uso do petróleo na intenção de descobrir se os participantes tinham ideia do quanto dependemos do petróleo, pois, o utilizamos de diversas

maneiras, seja na indústria e até mesmo, na nossa casa, para a nossa locomoção no uso de carros e motos e até mesmo na cozinha com utensílios domésticos e com o uso do gás liquefeito de petróleo, a pergunta teve um resultado satisfatório dentre as 61 respostas, 48 responderam que sim, achavam que somos dependentes, o que é bem interessante, pois gera a discussão do que podemos fazer para não depender tanto desta fonte que é não renovável e com previsão de esgotamento, entretanto, 5 pessoas responderam que não o que torna possível uma futura discussão sobre isto para enfatizar a nossa dependência, ou seja, é necessário mais divulgação sobre esse tema, além disso, 8 responderam talvez implicando em dúvidas a respeito disto. Como é possível observar no Gráfico 1 abaixo.

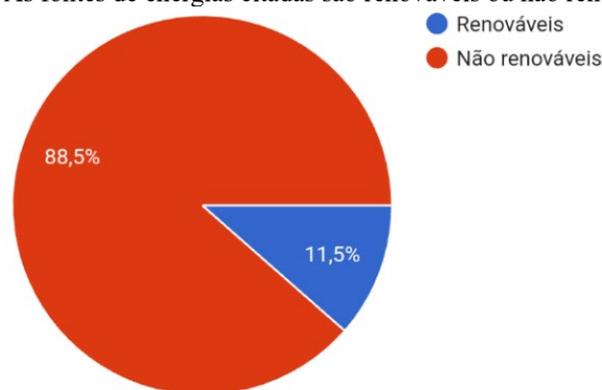
Gráfico 1: Você acha que somos muito dependentes do uso do petróleo?



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A segunda pergunta tinha por complemento da pergunta anterior, queríamos saber se a população tinha conhecimento que essas fontes não são renováveis, já que são, não renováveis, não tem a característica de renovação em curto período de tempo, acarretando em previsão de esgotamento e sendo assim, um problema futuro que como já foi dito, o petróleo é muito utilizado de diversas formas. 54 pessoas responderam que são não renováveis, sendo assim, entendem que tem previsão de esgotamento o que é bastante interessante para a população em geral deter tal conhecimento para pensar na preservação e diminuição do uso exacerbado do mesmo. Porém, 7 pessoas responderam que são renováveis, ou seja, acham que não acabará, o que é bem preocupante pois o primeiro passo deve ser a conscientização da população para que aja mudanças significativas. A seguir o Gráfico 2 detalha o que foi discorrido no texto.

Gráfico 2: As fontes de energias citadas são renováveis ou não renováveis?



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A terceira pergunta foi justamente atrelada à economia do uso de petróleo se a população achava que seria possível substituir parcialmente o uso de combustíveis fósseis, ou seja, as fontes como o petróleo, gás natural e carvão, pelo uso de biocombustíveis, 50 respostas foram afirmativas a população acredita que é possível e sabemos que é possível e que a ANP tem uma grande preocupação em justamente acrescentar alguns porcentos de biodiesel no diesel, estes porcentos, a cada ano aumenta mais como demonstra a Tabela 1 a seguir:

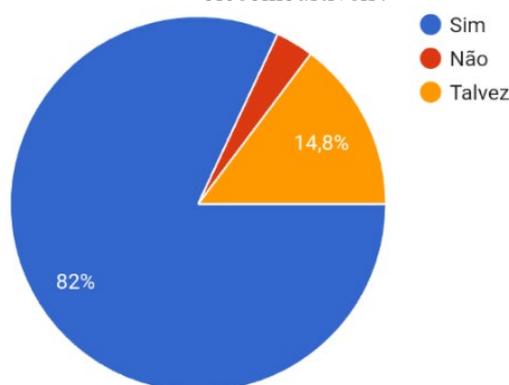
Tabela 1: Porcentagem de biodiesel no diesel.

| Ano – mês | Porcentagem de biodiesel adicionada no diesel comum |
|-----------|---|
| 2003 | Facultativo |
| Jan/2008 | 2% |
| Jul/2008 | 3% |
| Jul/2009 | 4% |
| Jan/2010 | 5% |
| Ago/2014 | 6% |
| Nov/2014 | 7% |
| Mar/2017 | 8% |
| Mar/2018 | 10% |
| Mar/2019 | 11% |
| Mar/2020 | 12% |

Fonte: ANP, 2019.

Entretanto, 9 respostas foram de talvez implicando dúvidas a respeito do tema e 2 foram negativas, com isso, podemos afirmar que é imprescindível o avanço de divulgação sobre o tema para mostrar à população que é possível a substituição e que muitas vezes está na sua própria casa, essa possibilidade, ajudando a reciclar o óleo de cozinha por exemplo. O Gráfico 3 a seguir detalha o que foi descrito no texto O que está atrelado justamente a próxima pergunta.

Gráfico 3: Você acha que seria possível substituir parcialmente o uso de combustíveis fósseis pelo o uso de biocombustíveis?

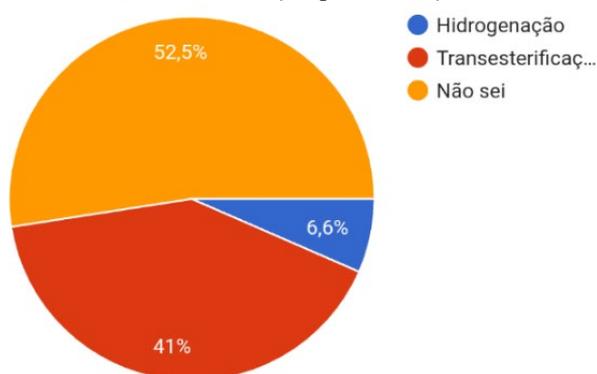


Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A quarta pergunta está relacionada à reação química de transesterificação gostaríamos de saber se a população tem conhecimento sobre a reação para obter biodiesel, onde a reação mais conhecida é justamente a de transesterificação que consiste na troca de um éster podemos citar o óleo (triglicerídeo) por outro éster (biodiesel), porém esta pergunta era bem específica e gerou algumas dúvidas 32 respostas foram que não sabiam, e 4 colocaram a outra opção que foi a hidrogenação, só 25 pessoas acertaram, mas como já foi dito é necessário uma divulgação maior sobre esse tema, a discussão de alternativas e a demonstração da mesma. Apesar de não ser possível realizar esta reação em casa, a população teria conhecimento sobre a possibilidade e teriam mais cuidado em reciclar o óleo de cozinha por exemplo (Gráfico 4).

De acordo com Dantas, a maior parte de toda energia consumida no mundo provém sim destas fontes que são limitadas e com previsão de esgotamento onde destacamos que é justamente este problema e o pontapé inicial para reaproveitamento de biomassas e o desenvolvimento de tecnologias que permitem utilizar fontes de energia renováveis e o mais importante em questão ecologicamente corretas (DANTAS et al., 2006)

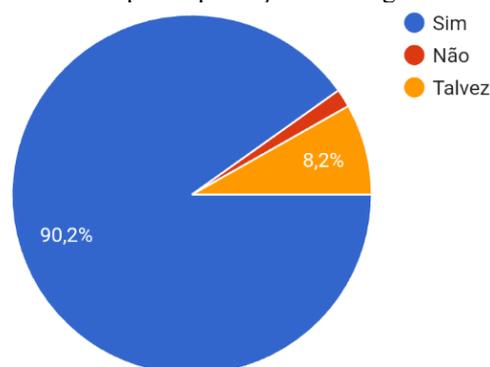
Gráfico 4: Qual seria a reação para obtenção do Biodiesel?



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A quinta pergunta foi sobre biomassas e se a população acha que deveria ter mais reaproveitamento, e as respostas obtidas foram 55 sim, 5 talvez e 1 não. Implica dizer que a população reconhece que é necessário um maior reaproveitamento e o que podemos destacar desta pergunta é que na verdade é muito importante ocorrer um maior reaproveitamento de biomassas, pois, são fontes sustentáveis e que não prejudicam o meio ambiente a exemplo da cana de açúcar na geração de etanol.

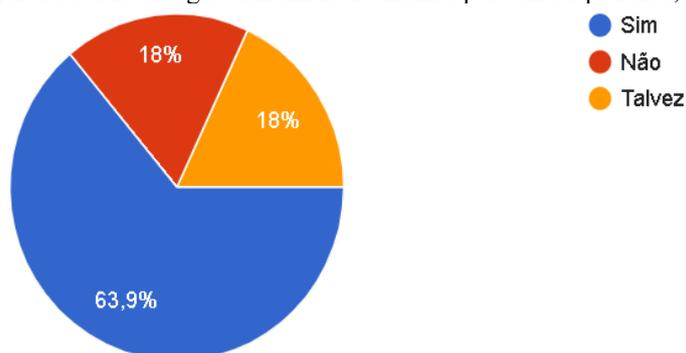
Gráfico 5: Você acha que deveria existir mais reaproveitamento de biomassas para produção de biocombustíveis para a produção de energia?



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A sexta pergunta é se as pessoas sabem se a maior parte de toda energia consumida no mundo provem dos combustíveis fósseis que são: o petróleo, o gás natural e o carvão. 39 respostas foram que sim acarretando em 63,9% e 18% (11 respostas) responderam que talvez e os outros 18% (11 respostas) que não como podemos ver no Gráfico 6 a seguir:

Gráfico 6: A maior parte de toda energia consumida no mundo provém do petróleo, carvão e gás natural?

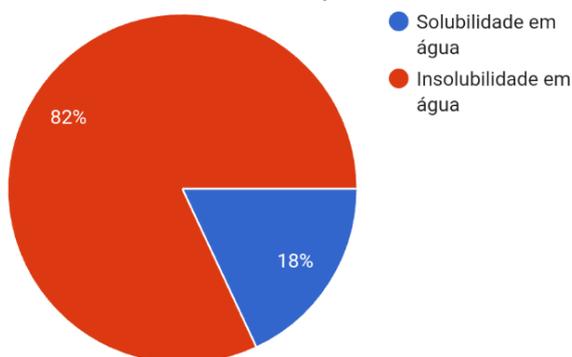


Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

A última pergunta foi sobre uma característica dos lipídios em água, se estes seriam solúveis ou insolúveis e obtivemos os seguintes resultados, 50 respostas para insolubilidade em água acarretando em 82% e 11 respostas com 18% solubilidade em água. Esta pergunta foi proposta para notar se as pessoas sabiam que os lipídios, ou seja, os óleos são solúveis em água

e como pode-se notar os resultados a grande maioria dos que responderam sabem que é insolúvel. Dentro desse contexto, devemos chamar a atenção, para o quanto o óleo, que é um lipídio, polui a água incapacitando a mesma para o uso e também no quanto limpeza desta água contaminado com o óleo é dispendioso, sendo assim, é de extrema importância salientar a todos do descarte correto do óleo e evitar ao máximo o descarte em pias em mares e etc , observa-se no Gráfico 7 abaixo:

Gráfico 7: Os lipídios constituem uma classe de compostos que, apesar de quimicamente diferentes entre si apresentam uma característica em comum, que característica seria essa?



Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que ainda é de extrema importância a conscientização perante toda a população sobre o uso exacerbado do petróleo e sobre providências futuras para a diminuição da grande utilização deste, até o momento o que têm tido grande destaque é sobre o descarte do óleo de cozinha gerando outra preocupação, pois, trás enormes consequências para o meio ambiente, e através deste resíduo pode-se gerar biodiesel, que ajuda a diminuir o uso do petróleo para fabricação de diesel, por exemplo. Porém, outras alternativas devem ser pensadas para ajudar o meio ambiente e investir ainda mais em biomassas que são fontes renováveis e sem previsão de esgotamento e o mais importante não acarretam grandes prejuízos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS:

COSTA, A. C. A.; PEREIRA, N.; ARANDA, D. A. G. The situation of biofuels in Brazil: New generation technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 3041-3049, 2010.

DANTAS, H. J. Estudo termoanalítico, cinético e reológico de biodiesel derivado óleo de algodão. 2006. 122f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

EREDA, T. Epoxidação de óleos vegetais, visando a obtenção de lubrificantes industriais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2004.

FLEURY, P.F., WANKE, P., NAZARIO, P. O papel do transporte na estratégia logística. Rio de Janeiro: ILOS, 2000.

KAPLAN, S.; FERRAZ, F.F.; FERRAZ, M. Biocombustíveis Petrobrás: uma evolução inspirada na natureza. *Ciência Hoje*, v. 41, p. 2-7, 2007.

MENEZES, J. D. S., MAGALHÃES, A. M. C., CRUZ, D. M. B., SILVA, C. M. C. B. Biocombustíveis: perspectivas do desenvolvimento sustentável. 1. ed. Aracaju: Criação Editora, 2019.

CAPÍTULO 7

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE PESCA PARA SÍNTESE DE QUITOSANA COM USO DE METODOLOGIAS DIVERSAS E APLICAÇÃO DE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE¹

Henrique Blank
Ingrid Dutra de Ávila
Adriane Röedel Hirdes
Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos

RESUMO

A quitina é um polissacarídeo presente na natureza, sendo a maior fonte de nitrogênio dos oceanos; não é encontrada em sua forma pura, por isso são necessários processos de purificação; sua importância como matéria-prima para síntese de quitosana é relevante. A quitosana pode ser encontrada em várias formas e apresenta aplicações diversas. Com base nesse contexto, o objetivo desse estudo foi extrair quitina de cascas de camarão obtidas na Colônia Z3 de Pelotas-RS e, partir disso, sintetizar quitosana em reação de desacetilação, com uso de radiação de micro-ondas (DS_{MICRO}) em comparação com os métodos de aquecimento convencional e sistema de refluxo (DS_{9h}) e de reação fazendo uso de radiação ultrassom (DS_{SULTRA}). Essas diferentes metodologias de desacetilação de quitina foram empregadas em comparação para obtenção de quitosana com qualidade de amostra comercial, de maneira rápida, eficiente, empregando princípios da Química Verde. Todas as etapas de extração de quitina e síntese de quitosana foram acompanhadas por meio da avaliação do teor de umidade, cinzas e nitrogênio e, por espectroscopia na região do infravermelho. A determinação da massa molar viscosimetria e do grau de desacetilação para as amostras de quitosana comprovaram qualidade e padrões de amostra comercial. Por fim, essa pesquisa resultou no desenvolvimento de metodologias de síntese de quitosana, sendo que a síntese com uso de radiação de micro-ondas evidenciou amostra com alto grau de desacetilação e alto peso molecular, além de ter demonstrado ser o método que mais atendeu aos requisitos da Química Verde, tais como maior rendimento e menor tempo de reação.

PALAVRAS-CHAVE: quitosana, micro-ondas, química verde, biomassa, indústria ecológica

INTRODUÇÃO

A indústria pesqueira gera resíduos que podem ser divididos em minerais, polissacarídeos, proteínas e lipídeos. Dentre os polissacarídeos encontra-se a quitina, presente

em espinhas de peixe e carapaças de crustáceos como o camarão, siris e carangueijos,

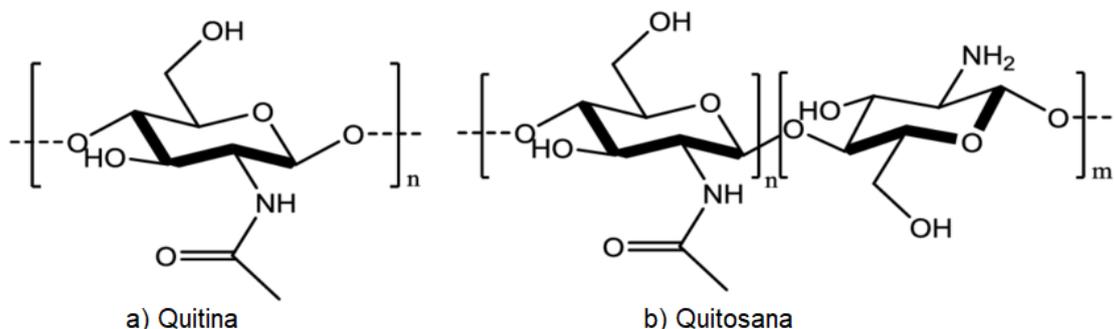
caracterizando-se como um polímero de grande disponibilidade (MUXIKA et al., 2017).

A quitina também está presente em insetos, moluscos, fungos e leveduras, cogumelos, algas verdes, etc. Sua estrutura linear é constituída de unidades β -(1 \rightarrow 4)-2-acetamido-(2-

¹ CAPES [001], bolsas de iniciação científica CNPq, FAPERGS e PBA/UFPel

desoxi-D-glucopiranoose) (Figura 1a), sendo que o processo de desacetilação conduz à quitosana, contendo unidades β -(1 \rightarrow 4)-2-amino-(2-desoxi-D-glucopiranoose) (Figura 1b). (EL KNIDRI et al., 2018; KUMARI et al., 2015)

Figura 1: Unidades poliméricas.



Fonte: adaptado de El Knidri et al. (2018), Kumari et al. (2015)

O termo quitina deriva da palavra grega “*khitón*” que significa carapaça. Em 1811, Broconnot descobriu a quitina, no entanto o material apresentava muitas impurezas que deixavam inconsistências na estrutura da molécula. Somente em 1823, Odier denominou a quitina, mediante diversas discussões acerca de certificar se o material era realmente novo ou derivado da celulose. Em 1943, Payen identificou a presença de nitrogênio na estrutura da quitina diferenciando da celulose. (ROBERTS, 1992).

Na natureza, a quitina não é encontrada em sua forma pura, sendo necessários processos de purificação para remoção de proteínas, pigmentos e lipídeos (EL KNIDRI et al., 2019; YOUNES; RINAUDO, 2015). Diversos processos são relatados na literatura para a extração da quitina por métodos químicos e envolvem etapas de desmineralização, desproteínização e descoloração. Para a desmineralização, soluções de ácido clorídrico são preferidas para remover os constituintes minerais como o carbonato de cálcio e fosfato de cálcio entre outros, em curto tempo de reação. Na etapa da desproteínização da quitina é realizado um tratamento alcalino, sendo as soluções de hidróxido de sódio as mais utilizadas para a remoção de proteínas (AL-MANHEL; AL-HILPHY; NIAMAH, 2018; EL KNIDRI et al., 2018; KUMARI et al., 2015). A etapa de descoloração é realizada somente se necessário.

Os estudos de biopolímeros como quitina e quitosana levam em consideração, não apenas a versatilidade de aplicações do material para uso em escala industrial, mas também a abundância da matéria-prima (EL KNIDRI et al., 2018; YOUNES; RINAUDO, 2015).

A quitina é a fonte mais abundante de nitrogênio encontrada nos oceanos, em seu estado puro, é branca ou amarelada, inodora e insípida, apresenta baixa toxicidade e é hidrofóbica,

sendo insolúvel em água e até mesmo na maioria dos solventes orgânicos (ROY et al., 2017; YOUNES; RINAUDO, 2015).

Uma grande parte da região no sul do Brasil é banhada pela Lagoa dos Patos, que tem ligação com o oceano Atlântico no sul do Brasil. Na extensão dessa lagoa existem muitas colônias de pescadores, sendo uma delas a Colônia Z-3, localizada a uma distância de 20 km do centro do município de Pelotas, no Estado do Rio Grande do Sul, onde residem cerca de 6000 pessoas. As estimativas para boas safras de camarão na Colônia Z-3 apontam para cerca de quatro mil toneladas de camarão, em período sazonal permitido para esse tipo de pesca (MICHEL, 2018). As cascas de camarão contêm cerca de 20-40% de quitina, além de 30-40% de proteínas, 30-50% de carbonato e fosfato de cálcio (KUMIRSKA et al., 2010), sendo que a composição varia conforme o local de origem e espécie (EL KNIDRI et al., 2018; KUMARI et al., 2015).

A quitosana foi descoberta por Rougeut, em 1859, ao adicionar quitina a uma solução de hidróxido de sódio quente, obtendo um derivado solúvel em soluções ácidas. No entanto, as pesquisas com o biopolímero somente tiveram início no século seguinte. O termo quitosana foi dado ao composto da quitina desacetilada, em 1894, por Hoppe-Seyler (MATHUR; NARANG, 1990).

Unidades de $\beta(1\rightarrow4)$ -2-amino-2-desoxi-D-glicopiranosose e $\beta(1\rightarrow4)$ -2-acetoamido-2-desoxi-D-glicopiranosose interligadas entre si constituem a quitosana (Figura 1b), sendo que a proporção de cada unidade varia de acordo com o grau de desacetilação (\overline{GD}). Já a quantidade de unidades varia de acordo com o tamanho do polímero, ou seja, com sua massa molar viscosimétrica (M_V) (YOUNES; RINAUDO, 2015).

A estrutura da quitosana permite evidenciar a presença de grupos funcionais característicos, tais como: hidroxila primária e secundária, amina e acetamida. Esses grupos funcionais permitem à quitosana sofrer modificações químicas e físicas, sendo o grupo amina responsável pela solubilidade do polímero em meio ácido, ao protonar-se na presença de H^+ , formar $-NH_4^+$ e interagir por meio de ligações de hidrogênio e atrações eletrostáticas (EL KNIDRI et al., 2018; ROY et al., 2017).

As aplicações para a quitosana são diversas, tais como: adsorvente para remoção de metais poluentes tais como cobre e cromo atuando como biorremediador na agricultura (GEROMEL-COSTA et al., 2018), adsorvente de mercúrio e níquel em tratamento de efluentes industriais (KYZAS; KOSTOGLU, 2015); uso na indústria de alimentos (HOMEZ-JARA et

al., 2018), desenvolvimento de embalagens bioativas (SIVASELVI; GHOSH, 2017), agente bactericida (AL-MANHEL; AL-HILPHY; NIAMAHA, 2018), veículo de fármacos (MORAN et al., 2018), etc.

O processo de síntese de quitosana parte da quitina purificada e consiste na conversão da quitina em quitosana pela remoção do grupo acetila (BLANK et al. 2020; HIRDES; GIACOMINI; SANTOS, 2017; HIRDES, 2021). A reação de desacetilação via método químico utiliza bases fortes e pode ser empregada de diferentes formas, como por aquecimento convencional e banho de óleo acoplado a um sistema de refluxo (EL KNIDRI et al., 2019; HIRDES, 2021; SEBASTIAN et al., 2019) ou fazendo uso de radiação proveniente de micro-ondas (EL KNIDRI et al., 2018, 2019; HIRDES, 2021) ou de ultrassom (ANWAR; ANGGRAENI; AMIN, 2017; HIRDES 2021).

Grau de desacetilação (\overline{GD}) maior que 50% caracteriza o polímero como quitosana e inferior a 50% como quitina (ABDULKARIM et al., 2013; EL KNIDRI et al., 2018; YOUNES; RINAUDO, 2015). Um valor de \overline{GD} superior a 50% é requerido à quitosana pois melhora sua solubilidade devido à presença de maior quantidade de grupos amina, que quando protonados em meio ácido, interagem eletrostaticamente e por meio de ligações de hidrogênio com a solução, resultando na solubilidade (ROY et al., 2017; YOUNES; RINAUDO, 2015). Sua determinação ocorre por meio de titulação potenciométrica, que pode ser considerado um método simples, barato e bastante confiável (EL KNIDRI et al., 2018; FRICK et al., 2018; GARCIA, 2020).

Estudos vêm demonstrando que a síntese de quitosana assistida por micro-ondas pode ser um excelente método de escolha para a produção de quitosana com alta \overline{M}_V (BLANK et al., 2020; EL KNIDRI et al., 2016; HIRDES, 2021; INOUE et al., 2021; SEBASTIAN et al., 2019), com vantagens no custo e aplicabilidade da metodologia (EL KNIDRI et al., 2019; SEBASTIAN et al., 2019). Já a quitosana obtida via radiação de ultrassom também mostra tendência para obtenção de polímero com alta \overline{M}_V , mas é um método mais elaborado e de maior custo (FIAMINGO et al., 2016; HIRDES, 2021). Já o método convencional de aquecimento e refluxo origina amostras com menor \overline{M}_V , além de ser um método demorado (EL KNIDRI et al., 2016).

Com base nesse contexto, o objetivo desse estudo foi extrair quitina de cascas de camarão obtidas na Colônia Z3 de Pelotas-RS e, partir disso, sintetizar quitosana em reação de desacetilação, com uso de radiação de micro-ondas (DS_{MICRO}) em comparação com os métodos

de aquecimento convencional e sistema de refluxo (DS_{9h}) e de reação fazendo uso de radiação ultrassom (DS_{ULTRA}). As diferentes metodologias foram empregadas em comparação para obtenção de quitosana com qualidade de amostra comercial, de maneira rápida, eficiente, empregando princípios da Química Verde.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os reagentes químicos de grau analítico (PA) foram utilizados sem tratamento prévio. A água utilizada no preparo de soluções e nas análises químicas foi obtida a partir de um destilador tipo pilsen, marca Marte e/ou deionizador por osmose reversa da marca Quimis Q342.

Foram utilizados os seguintes reagentes das marcas Synth (acetato de sódio, brometo de potássio, hidróxido de amônio, hidróxido de amônio, verde de bromocresol, vermelho de metila, sulfato de potássio, iodeto de potássio); Vetec (ácido sulfúrico, ácido acético, ácido clorídrico, hidróxido de sódio); Sigma-Aldrich (quitosana de médio peso molecular lote ST9F3507 – Tabela 1).

Tabela 1: Quitosana obtida comercialmente e utilizada como padrão de comparação.

| Propriedades | Especificações |
|-----------------------|---|
| Cinzas totais | < 1,0% |
| Umidade | < 10,0% |
| Densidade | 0,15 - 0,30 g.cm ⁻³ |
| Solubilidade | 10 mg.mL ⁻¹ em ácido acético 1 Mol.L ⁻¹ |
| pH | 6,3 |
| Grau de desacetilação | 75 – 85% |
| Massa Molar | 190 – 310 kDa |

Fonte: Sigma-Aldrich (2019).

Quitosana pode ser adquirida comercialmente conforme o grau de desacetilação (\overline{GD}) desejado, variando entre 70 e 95% e, conforme sua massa molecular, entre 10⁴ e 10⁶ g.mol⁻¹. Em geral, o fabricante ainda apresenta na ficha de especificação a fonte da matéria-prima e a densidade (SIGMA-ALDRICH, 2019).

A síntese de quitosana, ou melhor, o processo de desacetilação com uso de radiação micro-ondas vem sendo amplamente descrita pela eficiência de resultados na redução do tempo de reação em comparação com o método convencional de aquecimento e sistema de refluxo (BLANK et al., 2020; EL KNIDRI, 2016, 2019; HIRDES, 2021; SEBASTIAN et al., 2019) e pela simplificação do método em comparação com metodologia que utiliza radiação de

ultrassom (ANWAR; ANGGRAENI; AMIN; 2017; BLANK et al., 2020; FIAMINGO et al., 2016; HIRDES, 2021).

As ondas de micro-ondas atuam diretamente em moléculas que possuem momento dipolar ou condutividade iônica, levando a efeitos térmicos e não térmicos (EL KNIDRI et al., 2019; HAYES; HAYES, 2015). Desse modo, as vantagens mais destacadas na literatura para uso de radiação de micro-ondas são reações rápidas, alta pureza e seletividade dos produtos, rendimentos aprimorados, maior eficiência energética, reprodutibilidade, segurança e redução de custos (EL KNIDRI et al., 2016, 2019; SEBASTIAN et al., 2019). Como desvantagem, ressalta-se a dificuldade de controle da quantidade de calor gerada, a evaporação de água do meio de reação e a impossibilidade de utilizar recipiente fechado em alguns equipamentos de micro-ondas (SURAT; JAUHARI; DESAK, 2012).

Micro-ondas é uma forma de energia eletromagnética localizada no espectro eletromagnético entre 300 e 300.000 MHz; uma região que fica entre o infravermelho e as radiofrequências. (BANIK; BANDYOPADHYAY; GANGULY, 2003), caracterizando uma fonte de radiação, segura, barata, ecológica e rentável para a síntese de quitosana em larga escala (EL KNIDRI et al., 2016, 2019).

Assim nessa pesquisa, os procedimentos para extração de quitina a partir de cascas de camarão e síntese de quitosana está baseado em trabalhos descritos na literatura. No entanto, foi preciso uma adaptação do método conforme a disponibilidade do Laboratório de Sólidos Inorgânicos (LASIR) onde a parte experimental foi realizada e das características da matéria-prima disponível. (EL KNIDRI et al., 2018; KUMARI et al., 2015; MUXIKA et al., 2017; YOUNES; RINAUDO, 2015).

A meta era sintetizar quitosana com propriedades semelhantes à quitosana comercial da marca Sigma-Aldrich, com médio \overline{GD} , de modo a proporcionar solubilidade em soluções aquosas de: ácido acético 1%, mistura de ácido acético 0,3 mol.L⁻¹/acetato de sódio 0,2 mol.L⁻¹ (pH~4,5) e ácido clorídrico 0,1 mol.L⁻¹, que seriam as soluções de trabalho.

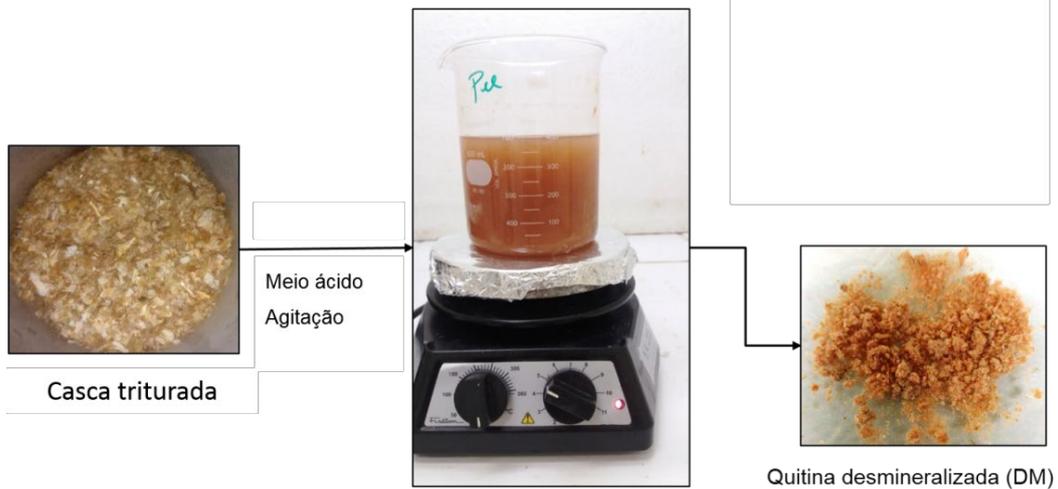
O processo de extração da quitina e síntese da quitosana passou pela seguinte sequência (HIRDES, 2021): pré-tratamento das cascas de camarão (Figura 2), desmineralização (DM) (Figura 3), desproteinização (DP) (Figura 4) e desacetilação (DS) (Figura 5, Tabela 2).

Figura 2: Pré-Tratamento das cascas: (a) catação e limpeza, (b) secagem à 60 °C por 24h e (c) Trituração (c)



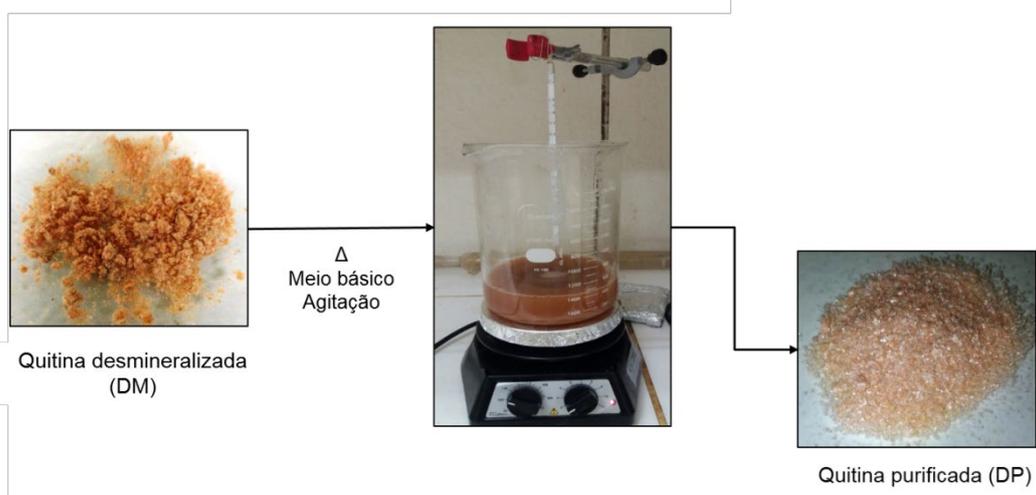
Fonte: Hirdes (2021)

Figura 3: Desmineralização de quitina (DM). Rendimento de 44%. Secagem 60°C por 24 h.



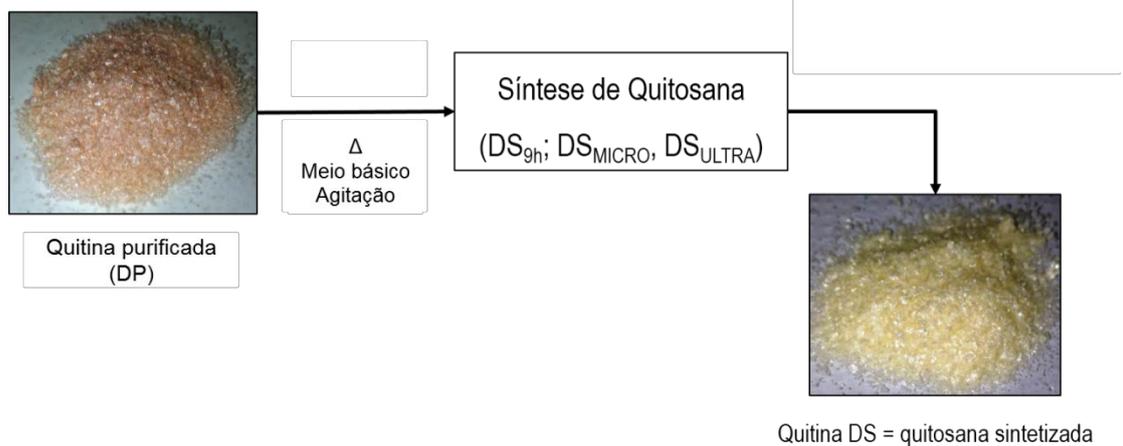
Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

Figura 4: Desproteínização de quitina desmineralizada e obtenção de quitina purificada. Rendimento de 68 %. Secagem 60°C por 24 h.



Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

Figura 5: Síntese de quitosana por diferentes métodos. DS_{9h} = aquecimento convencional e sistema de refluxo por 9h; DS_{MICRO} = radiação de micro-ondas; DS_{ULTRA} = radiação de ultrassom.



Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

Tabela 2: Descrição da síntese de quitosana por três diferentes métodos químicos.

| Descrição | Síntese de quitosana a partir da quitina purificada | | |
|------------------------------|--|---|--|
| | DS _{9h} | DS _{MICRO} | DS _{ULTRA} |
| Vidrarias | Balão de vidro | Béquer de plástico | Béquer de vidro |
| Equipamentos | Agitador magnético e sistema de refluxo | Micro-ondas Eletrolux (doméstico) ME28S 900 W v=60 Hz | Sonic Vibra Cell VCX 130 Mod.130 W, v=20 kHz |
| Massa inicial de quitina (g) | 30 | 30 | 2 |
| Tempo de reação | 9 h | 1h e 15 min | 2 h |
| Filtração e Lavagem | Funil de Büchner acoplado à bomba de vácuo e lavagem com água destilada até pH 7 | | |
| Secagem | Estufa de secagem à 45 °C por 48 h | | |
| Local da síntese | Laboratório de Sólidos Inorgânicos (Lasir) da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) – Campus Capão do Leão | Lasir/UFPeL | Laboratórios de Universidade Federal do Pampa (Unipampa) – Campus Bagé |

Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

Cada etapa de extração e síntese foi acompanhada por meio de análises químicas e físicas (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização das amostras.

| Caracterizações | Equipamentos | Referências |
|---|--|---|
| Umidade | Estufa Solab SL 100/150; Balança analítica Shimadzu AUW220D | (AOAC n° 935.28, 1995; HIRDES et al., 2017; 2021) |
| Cinzas | Forno Mufla Jung Mod.2310; Balança analítica Shimadzu AUW220D | (AOAC n° 923.03, 1995; AVILA et al, 2021; HIRDES, 2021) |
| Nitrogênio Total (Kjeldahl) | Bloco Digestor Solab SL 25 e Destilador Solab SL 74 | (AOAC n° 920.87, 1995; SILVEIRA JUNIOR; SANTOS; HIRDES, 2018; HIRDES, 2021) |
| Granulometria | Peneiras e agitador Bertel; Balança analítica Shimadzu AUW220D | (FONSECA, 2016; HIRDES, 2021) |
| Massa Molar Viscosimétrica | Viscosímetro de Ostwald n° 250 | (INOUE et al, 2021; HIRDES, 2021) |
| Grau de desacetilação | Phmetro Quimis Q450A | (GARCIA et al, 2020; HIRDES, 2021) |
| Espectroscopia de Infravermelho (FT-IV) | Shimadzu – IRAffinity-1 intervalo de varredura de 400 a 4000 cm ⁻¹ , amostra seca em estufa a 40 °C por 12h, proporção 1:10 (amostra:KBr) | (EL KNIDRI et al., 2016; FRICK et al., 2018; HIRDES, 2021) |

Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

A espectroscopia na região do infravermelho (FT-IV) foi uma das técnicas utilizadas para acompanhamento da eficiência dos processos devido à possibilidade de identificar as principais bandas que caracterizam os polímeros (EL KNIDRI et al., 2016, 2019; KUMARI et al., 2015, 2017; MAREI et al., 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As quitosanas sintetizadas (DS_{9h}, DS_{MICRO}, DS_{SULTRA}) apresentaram características físicas e solubilidade semelhantes à quitosana comercial da marca Sigma-Aldrich.

O rendimento de síntese de quitosana a partir de quitina purificada foi de 54,5%; 64% e 58% para DS_{9h}, DS_{MICRO}, DS_{SULTRA}, respectivamente. Já o rendimento global a partir das cascas de camarão limpas e trituradas foi de 13%; 19% e 17%. Comparado à extração convencional, a desacetilação por micro-ondas permitiu reduzir drasticamente o tempo de reação, aumentando o rendimento. Os rendimentos obtidos estão de acordo com a literatura (ABDULKARIM et al., 2013; AL-MANHEL; AL-HILPHY; NIAMAH, 2018).

Todas as etapas de extração de quitina e síntese de quitosana foram avaliadas, e estão descritas na Tabela 4 (HIRDES, 2021).

Tabela 4: Resultado da média das triplicatas obtido para a determinação do teor de umidade, cinzas e nitrogênio.

| Amostras | Umidade (%) | Cinza (%) | Nitrogênio (%) |
|--|-------------|--------------|----------------|
| Casca | 5,59 ± 0,12 | 25,64 ± 0,17 | 4,92 ± 0,10 |
| Quitina (DM) | 1,58 ± 0,11 | 0,94 ± 0,10 | 11,43 ± 0,10 |
| Quitina (DP) | 1,20 ± 0,12 | 2,48 ± 0,16 | 7,79 ± 0,14 |
| Quitosana (DS _{9h}) | 3,92 ± 0,04 | 0,88 ± 0,09 | 8,03 ± 0,04 |
| Quitosana (DS _{MICRO}) | 3,80 ± 0,14 | 0,77 ± 0,19 | 8,90 ± 0,11 |
| Quitosana (DS _{ULTRA}) | 6,00 ± 0,10 | 0,44 ± 0,10 | 8,91 ± 0,09 |
| Quitosana Comercial (DS _{COM}) | 6,30 ± 0,08 | 0,50 ± 0,17 | 8,22 ± 0,10 |

Fonte: Adaptado de Hirdes (2021).

A avaliação do teor de umidade garante a qualidade da amostra, já que a umidade pode ser um fator favorável à degradação por fungos ou bactérias. O teor de umidade é uma análise de baixo custo e tem relação com a concentração de minerais na amostra, uma vez que a umidade aumenta quando as concentrações de materiais inorgânicos na amostra são maiores. Também apresenta relação com a capacidade do material em fazer ligações de hidrogênio, como o caso da quitosana. A literatura relata teor de umidade para quitosana obtida a partir da casca de camarão, como para Al-Manhel, Al-Hilphy e Niamah (2018) que relata 7,84% de teor de umidade, 7,96% por Hossain e Iqbal (2014).

A análise do teor de cinzas indica a eficiência da etapa de desmineralização da quitina (SIGMA-ALDRICH, 2019). A literatura vem apontando teores de cinzas muito semelhante ao resultado obtido neste trabalho para quitosana sintetizada a partir da casca de camarão, conforme reportado por Al-Manhel, Al-Hilphy e Niamah (2018) (0,75%), Trung et al. (2020) (0,73%) Younes et al., (2012) (1,40%) e teor de cinzas inferior a 1% (Tabela 1) para a quitosana comercial. A composição mineral, principalmente, de carbonato de cálcio (CaCO₃) da casca do camarão varia conforme a espécie e origem do camarão.

A determinação do teor de nitrogênio é uma análise que permite avaliar a eficiência do processo de desproteínização da quitina, na obtenção de uma amostra sem interferentes de proteínas e pigmentos nitrogenados. Pode-se observar que a casca de camarão apresentou um teor de nitrogênio de 4,92%, o que foi mais próximo ao valor de 5,32% obtido por Qu et. al (2015). O menor teor de nitrogênio da casca em comparação com as demais amostras analisadas tem relação com sua proporção no material, assim na casca, a maior proporção é de minerais e, conseqüentemente, a proporção de nitrogênio é reduzida comparada com a de sais inorgânicos nas amostras de cascas. Já essa análise evidenciou um aumento nas quitosanas, o que está de

acordo com a literatura (ABDULKARIM et al., 2013; TRUNG et al., 2020) e vem sendo descrito para amostras de quitina que passam pelo processo de desacetilação.

Desse modo, as análises de cinzas, umidade e nitrogênio evidenciaram dados de acordo com a literatura, bem como a indicação da manutenção da qualidade das amostras, sem degradação à cada etapa química.

Outra análise importante que tem relação com o tamanho do polímero de quitosana a ser obtido ao final de todas as etapas é o tamanho da partícula, assim a análise granulométrica permitiu caracterizar o tamanho das partículas (Tabela 5). A casca apresentou partículas na sua maioria de 1–0,250 mm. Já, os finalizar os processos de extração da quitina com obtenção de quitina purificada, observa-se um aumento da proporção de partículas maiores. Este aumento tem relação com sua organização polimérica e descompactação resultante da retirada de minerais, proteínas e pigmentos.

Tabela 5: Avaliação granulométrica.

| Amostras | Percentual retido (%) | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2,00 | 1,00 | 0,500 | 0,250 | 0,106 | Fundo |
| Peneiras - poro (mm) | | | | | | |
| Casca | 3,80 | 21,90 | 44,60 | 21,50 | 7,06 | 0,60 |
| Quitina purificada* | 11,53 | 31,95 | 42,16 | 10,42 | 3,79 | 0,15 |
| Quitosana DS _{9h} | 3,90 | 38,80 | 45,80 | 10,80 | 0,60 | 0,10 |
| Quitosana DS _{MICRO} | 0 | 4,86 | 13,22 | 34,57 | 38,97 | 8,38 |
| Quitosana DS _{ULTRA} | 0 | 3,06 | 8,63 | 36,34 | 32,17 | 19,80 |
| Quitosana Comercial DS _{COM} | 0 | 0,10 | 7,40 | 27,40 | 37,60 | 24,90 |

Fonte: Adaptado de Hirdes (2021). *Quitina purificada = desmineralizada e desproteïnizada.

A granulometria é uma análise física, já a determinação da massa molar viscosimétrica média (\overline{M}_V) por viscosimetria capilar é uma análise química, simples, de baixo custo e que exige solubilidade da amostra no meio (RINAUDO; MILAS; LE DUNG, 1993).

A viscosidade das amostras de quitosana dessa pesquisa está descrita na Tabela 6 (HIRDES, 2021), sendo que esses dados obtidos já foram previamente publicados (INOUE et al. 2021) e estão de acordo com o que vêm sendo reportado por diversos autores: 161 kDa (TRUNG et al., 2020), 165 kDa (EL KNIDRI et al., 2019) e 141 kDa (EL KNIDRI et al., 2016). O método com ultrassom destacou-se na obtenção de quitosana com maior massa molar.

Tabela 6: Dados comparativos das amostras de quitosana desse trabalho.

| Quitosana | $[\eta]$ | \overline{M}_v ($\times 10^5$ g.mol ⁻¹) | (kDa) |
|---------------------|-----------------|--|---------------|
| DS _{9h} | 663,05 – 680,73 | 1,564 – 1,623 | 156,4 – 162,3 |
| DS _{MICRO} | 737,62 – 801,67 | 1,825 – 2,036 | 182,5 – 203,6 |
| DS _{ULTRA} | 1194,8 – 1212,8 | 3,443 – 3,511 | 344,3 – 351,1 |
| DS _{COM} | 732,20 – 787,91 | 1,808 – 1,991 | 180,8 – 199,1 |

Fonte: Adaptado de Ioune et al. (2021) e de Hirdes (2021) .

Outra análise importante é a determinação do grau médio de desacetilação (\overline{GD}) definido como o número de grupos amino em relação aos grupos amida na cadeia polimérica. Essa determinação foi feita por titulação potenciométrica (pH) os dados completos foram previamente publicados por Garcia et al. (2020).

A titulação potenciométrica pode ser considerada um método simples, não destrutivo, de baixo custo, baseado em reagentes e aparelhos acessíveis e bastante confiável para a determinação de amostras de quitosana, tendo como desvantagem o tempo gasto na coleta de dados durante a titulação (GARCIA et al., 2020; HIRDES, 2021; SEBASGTIAN et al., 2019, KUMARI et al., 2015).

Para validação estatística dos dados coletados durante a titulação e para minimizar os erros (operador, equipamento etc.) que possam ter ocorrido no experimento optou-se por utilizar o estudo das derivadas das curvas. A Tabela 7 (HIRDES, 2021) apresenta os dados de pH coletados na análise de titulação potenciométrica, os dados da projeção da primeira derivada ($\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$) e da segunda derivada $\Delta(\Delta\text{pH}/\Delta\text{V})$ e método dos mínimos quadrados (GARCIA et al., 2021; HIRDES, 2021). Os dados mais precisos estão destacados em negrito. A quitosana sintetizada DS_{MICRO} apresentou um grau de desacetilação um pouco maior que as demais. Vale ressaltar que a quitosana comercial utilizada como referência neste trabalho é uma amostra definida pelo fabricante com grau médio de desacetilação (%) entre 75 – 85% (SIGMA-ALDRICH, 2019) (Tabela 2).

Tabela 7: Valores de (\overline{GD}) das amostras desse trabalho.

| Quitosana | Primeira derivada ($\Delta\text{pH}/\Delta\text{V}$) | Segunda derivada $\Delta(\Delta\text{pH}/\Delta\text{V})$ | Mínimos quadrados $\Delta(\Delta\text{pH}/\Delta\text{V})$ |
|---------------------|---|--|---|
| DS _{9h} | 81,2 | 81,2 | 80,46 |
| DS _{MICRO} | 80,1 | 80,1 | 82,77 |
| DS _{ULTRA} | 83,9 | 83,9 | 80,19 |
| DS _{COM} | 79,7 | 80,4 | 83,52 |

Fonte: Adaptado de Ioune et al. (2021) e de Hirdes (2021).

Ao analisar todas as amostras por espectroscopia na região do infravermelho observou-se a eficiência de cada processo de extração da quitina e da síntese da quitosana (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8: Principais bandas na região do infravermelho para quitina.

| Amostra de quitina | Atribuição e número de onda (cm ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------|---|-------------|-------------|----------------|-----------------------------|-----------------|
| | ν [-OH] | ν [-CH] | ν [C=O] | δ [N-H] | δ [CH ₃] | ν [-C-O-C-] |
| Casca | 3464 | 2921 | 1650 | 1560 | 1420 | 1067 |
| DM | 3454 | 2926 | 1651 | 1558 | 1417 | 1074 |
| DP | 3458 | 2924 | 1656 | 1558 | 1419 | 1074 |
| (EL KNIDRI et al., 2016) | 3434 | 2921 | 1654 | 1550 | 1422 | 1065 |

Fonte: Hirdes (2021).

Tabela 9: Principais bandas na região do infravermelho para quitosana.

| Amostra de quitina | Atribuição e número de onda (cm ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------|---|-------------|-------------|----------------|-----------------------------|-----------------|
| | Banda larga 1656-1550 cm ⁻¹ | | | | | |
| | ν [-OH] | ν [-CH] | ν [C=O] | δ [N-H] | δ [CH ₃] | ν [-C-O-C-] |
| DS _{9H} | 3450 | 2933 | 1654 | 1564 | 1427 | 1064 |
| DS _{MICRO} | 3450 | 2920 | 1656 | 1577 | 1421 | 1100 |
| DS _{SULTRA} | 3450 | 2920 | 1650 | 1566 | 1420 | 1087 |
| Comercial | 3445 | 2920 | 1657 | 1553 | 1421 | 1078 |
| (EL KNIDRI et al., 2016) | 3400 | 2940 | 1654 | 1550 | 1422 | 1065 |

Fonte: Hirdes (2021).

A amostra de DS_{MICRO} em comparação à amostra comercial, de acordo com as análises anteriores, mostrou-se como a mais promissora não somente devido as suas propriedades, mas também devido à rapidez de obtenção quando comparada à DS_{9h} e a sua maior capacidade de síntese quando comparada à DS_{SULTRA}.

A união das bandas específicas da quitina em 1651 cm⁻¹ [ν C=O] (amida I) e 1560 cm⁻¹ [δ N-H] (amida II) na formação de uma banda larga na região de 1656-1550 cm⁻¹ comprova a desacetilação da quitina, o que é observado para DS_{MICRO} e demais amostras de quitosana. Quando melhor o processo de desacetilação e maior o (\overline{GD}), mais unidas são as duas bandas na formação de uma única banda larga.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo foi apresentado o estudo onde a quitina foi extraída de rejeitos da casca de camarão-rosa (*Farfantepenaeus brasiliensis*) oriundos da colônia Z-3 de Pelotas/RS e quitosana foi sintetizada, fazendo uso de metodologias diversas.

As caracterizações dos principais parâmetros físico-químicos foram realizadas por técnicas simples e de baixo custo, tais como: determinação do teor de umidade, cinzas e nitrogênio; granulometria; massa molar viscosimetria e determinação do grau de desacetilação. As caracterizações estruturais dos polímeros foram avaliadas por espectroscopia na região do infravermelho. Todas as análises em conjunto permitiram acompanhar as etapas do processo de extração da quitina e síntese de quitosana, com a comprovação da qualidade das amostras de quitosana sintetizadas, em comparação com uma amostra comercial e com dados da literatura.

Diferentes metodologias de síntese foram empregadas, com destaque para quitosana sintetizada por meio de radiação de micro-ondas, devido à qualidade da quitosana obtida e seu rendimento de síntese em função do menor tempo de reação, em comparação com as demais metodologias avaliadas tais como aquecimento convencional em banho de óleo e sistema de refluxo e radiação de ultrassom. A síntese de quitosana por micro-ondas apresentou alto grau de desacetilação e alto peso molecular foi o método mais eficiente atendendo aos requisitos da Química Verde tais como maior rendimento e menor tempo de reação.

Por fim, uma metodologia de reaproveitamento de resíduos de pesca foi desenvolvida com uso de radiação de micro-ondas e rendimento global de 19% na obtenção de amostra com valor agregado e com propriedades de quitosana comercializável.

REFERÊNCIAS:

ABDULKARIM, A. et al. Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from Mussel Shell. **Natural Products Chemistry & Research**, v. 3, n. 2, p. 108–114, 2013.

AL-MANHEL, A. J.; AL-HILPHY, A. R. S.; NIAMAH, A. K. Extraction of chitosan, characterisation and its use for water purification. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 2, p. 186–190, 2018.

ANWAR, M.; ANGGRAENI, A. S.; AMIN, M. H. AL. Comparison of green method for chitin deacetylation. **AIP Conference Proceedings**, v. 1823, n. March, 2017.

BANIK, S.; BANDYOPADHYAY, S.; GANGULY, S. Bioeffects of microwave - a brief review. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 2, p. 155–159, 2003.

BLANK, H. et al. Aperfeiçoamento da síntese de quitosana utilizando radiação de micro-ondas. In: VI Semana integrada de inovação, ensino, pesquisa e extensão, Universidade Federal de Pelotas – UFPel. **Anual**. Pelotas – RS, Brasil, 2020.

EL KNIDRI, H. et al. Eco-friendly extraction and characterization of chitin and chitosan from the shrimp shell waste via microwave irradiation. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 104, p. 395–405, 2016.

EL KNIDRI, H. et al. Extraction, chemical modification and characterization of chitin and chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1181–1189, 2018.

EL KNIDRI, H. et al. Rapid and efficient extraction of chitin and chitosan for scale-up production: Effect of process parameters on deacetylation degree and molecular weight. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 1092–1102, 2019.

FIAMINGO, A. et al. Extensively deacetylated high molecular weight chitosan from the multistep ultrasound-assisted deacetylation of beta-chitin. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 32, p. 79–85, 2016.

FRICK, J. M. et al. Influence of Glutaraldehyde Crosslinking and Alkaline Post-treatment on the Properties of Chitosan-Based Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 7, p. 2748–2757, 2018.

GARCIA, I. A. Avaliação de métodos titulométricos para determinação do grau de desacetilação em quitosana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 4066–4084, 2020.

GEROMEL-COSTA, C. G. A. et al. Adsorption of metals by crosslinked chitosan beads in sugarcane contaminated streams. **Biomass and Bioenergy**, v. 119, n. September, p. 128–134, 2018.

HAYES, B.; HAYES, B. L. Recent Advances in Microwave- Assisted Synthesis. **Aldrichimica acta**, v. 37 (2), n. January 2004, p. 66–76, 2015.

HIRDES, A. R. **Síntese e caracterização de quitosana e quitosana triazenídica: filmes e aplicações**. 270 f. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

HIRDES, A. H.; GIACOMINI, G. X.; SANTOS, A. J. R. H. A. Síntese e caracterização da quitosana obtida a partir de rejeitos de camarão. In: SIIEPE – III Semana integrada de inovação, ensino, pesquisa e extensão, Universidade Federal de Pelotas – UFPel. **Anual**. Pelotas – RS, Brasil, 2017.

HOMEZ-JARA, A. et al. Characterization of chitosan edible films obtained with various polymer concentrations and drying temperatures. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 113, p. 1233–1240, 1 jul. 2018.

INOUE, M. D. et al. Caracterizações físico-químicas das etapas de obtenção da quitosana a partir de cascas de camarão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 98634-98652, 2021.

KUMARI, S. et al. Extraction and characterization of chitin and chitosan from fishery waste by chemical method. **Environmental Technology and Innovation**, v. 3, p. 77–85, 2015.

KUMIRSKA, J. et al. Application of spectroscopic methods for structural analysis of chitin and chitosan. **Marine Drugs**, v. 8, n. 5, p. 1567–1636, 2010.

KYZAS, G. Z.; KOSTOGLU, M. Swelling-adsorption interactions during mercury and nickel ions removal by chitosan derivatives. **Separation and Purification Technology**, v. 149, p. 92–102, 2015.

MATHUR, N. K.; NARANG, C. K. Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals. **Journal of Chemical Education**, v. 67, n. 11, p. 938, 1990.

MICHEL, J. DE O. **Jornalismo Comunitário na construção, compartilhamento e permanência das Memórias Sociais: O caso do Jornal “O Pescador” na/da Colônia de Pescadores Z3/Pelotas**. [s.l.] Universidade Federal de Pelotas, 2018.

MORAN, H. B. T. et al. Immunomodulatory properties of chitosan polymers. **Biomaterials**, v. 184, n. May, p. 1–9, 2018.

MUXIKA, A. et al. Chitosan as a bioactive polymer: Processing , properties and applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p. 1358–1368, 2017.

QU, J. et al. Nitrogen, oxygen and phosphorus decorated porous carbons derived from shrimp shells for supercapacitors. **Electrochimica Acta**, v. 176, p. 982–988, 2015.

RINAUDO, M.; MILAS, M.; LE DUNG, P. Characterization of chitosan. Influence of ionic strength and degree of acetylation on chain expansion. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 15, p. 281–285, 1993.

ROBERTS, G. A. F. **Chitin Chemistry**. London, UK: Macmillan Press Ltd, 1992.

ROY, J. C. et al. Solubility of Chitin: Solvents, Solution Behaviors and Their Related Mechanisms. In: **Solubility of Polysaccharides**. Roy, J. C. (Org). Soochow: InterchOpen, 2017, p. 20.

SEBASTIAN, J. et al. Microwave-assisted extraction of chitosan from *Rhizopus oryzae* NRRL 1526 biomass. **Carbohydrate Polymers**, v. 219, n. May, p. 431–440, 2019.

SIGMA-ALDRICH. **Quitosana da casca de camarão com peso molecular médio**. Disponível em: <<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/448877?lang=en®ion=US>>. Acesso em: 14 jan. 2019.

SIVASELVI, K.; GHOSH, P. Characterization of modified Chitosan thin film. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 442–451, 2017.

SURAT, M. A.; JAUHARI, S.; DESAK, K. R. A brief review : Microwave assisted organic reaction. **applied Science Research**, v. 4, n. 1, p. 645–661, 2012.

TRUNG, T. S. et al. Improved method for production of chitin and chitosan from shrimp shells. **Carbohydrate Research**, v. 489, p. 107913, 2020.

YOUNES, I. et al. Chitin and chitosan preparation from shrimp shells using optimized enzymatic deproteinization. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 12, p. 2032–2039, 2012.

YOUNES, I.; RINAUDO, M. Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. **Marine Drugs**, v. 13, n. 3, p. 1133–1174, 2015.

CAPÍTULO 8

ESTUDO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (REEE) DE ESTABELECIMENTOS DE CONSERTO E COLETA EM ILHÉUS/BA

Fernanda Nadier Cavalcanti Reis
Paloma Santana Marinho Cerqueira
Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Peolla Paula Stein
Tatiane Benvenuti
Tácia Costa Veloso

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico associado aos hábitos de consumo modernos insuflados pela necessidade de se ter o produto com a tecnologia mais recente têm moldado o comportamento e a relação do ser humano com os bens de consumo. Em contrapartida, tal consumo acelerado tem feito aumentar a quantidade de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). Em 2010 foi sancionada a Lei nº 12.305/2010, regulada pelo Decreto nº 7.404/2010 que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Tal legislação tem ajudado a diminuir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado dos resíduos, porém não é o bastante, pelo simples motivo de o Brasil ser o quinto maior gerador de REEE estando atrás da China, Estados Unidos, Índia e Japão, respectivamente. Em 2020, conforme estudo da *The Global E-waste Monitor* da Organização das Nações Unidas (ONU), aproximadamente 54 milhões de toneladas de REEE foram descartados em todo o mundo. No entanto, a recuperação dos metais é muito baixa, ainda quando observado os países mais desenvolvidos, justamente pela não constância de fornecimento de REEE por toda uma cadeia interligando consumidores finais, pontos de coleta, logística reversa e incentivos industriais. Neste contexto, uma das frentes de tratamento e beneficiamento dos REEE é a mineração urbana, que auxilia na mitigação dos impactos ambientais causados tanto pela extração convencional dos metais e quanto pelo descarte inadequado dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Considerando a importância da destinação, para a viabilidade da mineração urbana, foi realizado o estudo sobre o descarte dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos na cidade de Ilhéus/BA. O presente estudo consistiu na aplicação de questionários presenciais nos diversos estabelecimentos que recebem e/ou consertam localmente os REEE e no mapeamento do processo, tratamento, armazenamento e direcionamento dos resíduos. Os estabelecimentos receberam a identificação por uma letra em ordem alfabética, sendo as lojas de conserto denominadas de A, B, C, D, E, F e G, enquanto as empresas que possuem pontos de coleta foram denominadas de H e I. Por meio deste levantamento, constatou-se que foram geradas mais de 450 unidades de REEE em 2021 apenas no centro da cidade de Ilhéus. Considerando a baixa porcentagem das lojas de conserto que encaminham seus resíduos para empresas processadoras, uma grande parte desses resíduos foi possivelmente destinado indevidamente.

PALAVRAS-CHAVE: Coleta Seletiva, PNRS, Logística Reversa, REEE, Mineração Urbana.

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, o consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos cresce cada vez mais. Pode-se observar que isso ocorre devido ao surgimento e aprimoramento de novas tecnologias, associado à vida útil cada vez menor desses produtos, por conta da obsolescência programada, na qual diminuem a durabilidade de seus componentes e/ou restringem suas peças, tornando-as de difícil reposição e, por consequência, aumentando o descarte dos mesmos.

No Brasil, a geração dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), aumenta progressivamente. Em 2008, a geração nacional foi estimada em 710 mil toneladas, enquanto que em 2014, seis anos depois, foi observado um aumento de 100% nos valores dessa estimativa, alcançando a marca de 1,42 milhões de toneladas por ano. No entanto, o cuidado com a destinação final dos REEE não acompanhou tal crescimento (DIAS et al., 2018).

Os REEE's possuem, em sua constituição, uma diversa gama de poluentes orgânicos e inorgânicos. Por outro lado, apresentam grande potencial para a extração de metais de interesse e com valor agregado, como metais preciosos e terras raras em um processo conhecido como mineração urbana (PANCHAL; SINGH; DIWAN, 2021; RENE et al., 2021; ROCHA; PENTEADO, 2021).

Para que isso seja possível, tecnologias e estratégias de reciclagem dos REEE precisam ser implantadas e aprimoradas, principalmente no que se diz respeito à recuperação dos metais preciosos. Por isso, como etapa de estudo de reciclagem, é necessário conhecer a gestão desses resíduos na região, assim como quem os gera e quais são os tipos e o destino. Desse modo pode-se encontrar as deficiências e a disponibilidade dos mesmos, já que no Brasil, não existem dados oficiais sobre a geração de REEE (RODRIGUES; BOSCOV; GÜNTHER, 2020).

Portanto, foi realizado o estudo sobre o descarte dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) na cidade de Ilhéus/BA. O presente estudo consistiu na aplicação de questionários presenciais em diversos estabelecimentos que possuem coletores para REEE e/ou consertem equipamentos elétricos e eletrônicos, possibilitando, assim, o mapeamento dos processos, tratamento, armazenamento e direcionamento dos REEE em âmbito municipal.

REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento tecnológico tem modificado os hábitos de consumo da sociedade, fazendo-a com esteja mais conectada e ainda mais dependente de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE). Por outro lado, o elevado consumo, a rápida defasagem tecnológica e as dificuldades no conserto destes equipamentos fazem com que os mesmos sejam descartados

cada vez mais frequentemente. Apesar da elevada toxicidade que alguns resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) possuem, os mesmos apresentam em sua constituição diversos metais preciosos e terras raras que podem ser recuperados através da mineração urbana.

Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

Quando o conserto dos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) não é mais possível, tem-se então os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) que, se dispostos inadequadamente, podem acarretar em grandes impactos ambientais, como a lixiviação de metais pesados e demais poluentes para o solo e corpos d'água (MORAES; ROCHA; EWALD, 2014). O grande volume de REEE descartados inadequadamente em todo o mundo fez com que legislações fossem promulgadas, como a diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu.

Aprovada em 2003, tal diretiva tratou sobre o gerenciamento de REEE. A mesma ainda correlacionando-se com a diretiva 2002/95/EC, que tratou sobre a restrição de certas substâncias perigosas (limite total de 0,1 %), como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromato de bifenil e éter defenil polibromato (PBDE).

No âmbito nacional, em 2010 foi sancionada a Lei nº 12.305/2010, regulada pelo Decreto nº 7.404/2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contemplando questões como responsabilidade compartilhada e logística reversa, onde as empresas relacionadas com a fabricação dos mesmos passariam a ser responsáveis com a destinação adequada ao final da vida útil do produto. A referida legislação teve ainda a sua regulamentação complementada pelos Decretos nº 9.177/2017 e nº 10.240/2020, que trataram especificamente sobre o sistema de logística reversa de equipamentos eletrônicos e domésticos.

Assim, de acordo com a PNRS, todos aqueles que são responsáveis pela produção e comercialização de equipamentos elétricos e eletrônicos, são obrigados a implementar o sistema de logística reversa, que visa o descarte correto desses equipamentos. No entanto, é muito comum que essas estratégias não sejam estabelecidas, e esses resíduos encerram seu ciclo de vida em lugares irregulares, colocando em risco o meio ambiente e a saúde humana (MEDEIROS, 2015).

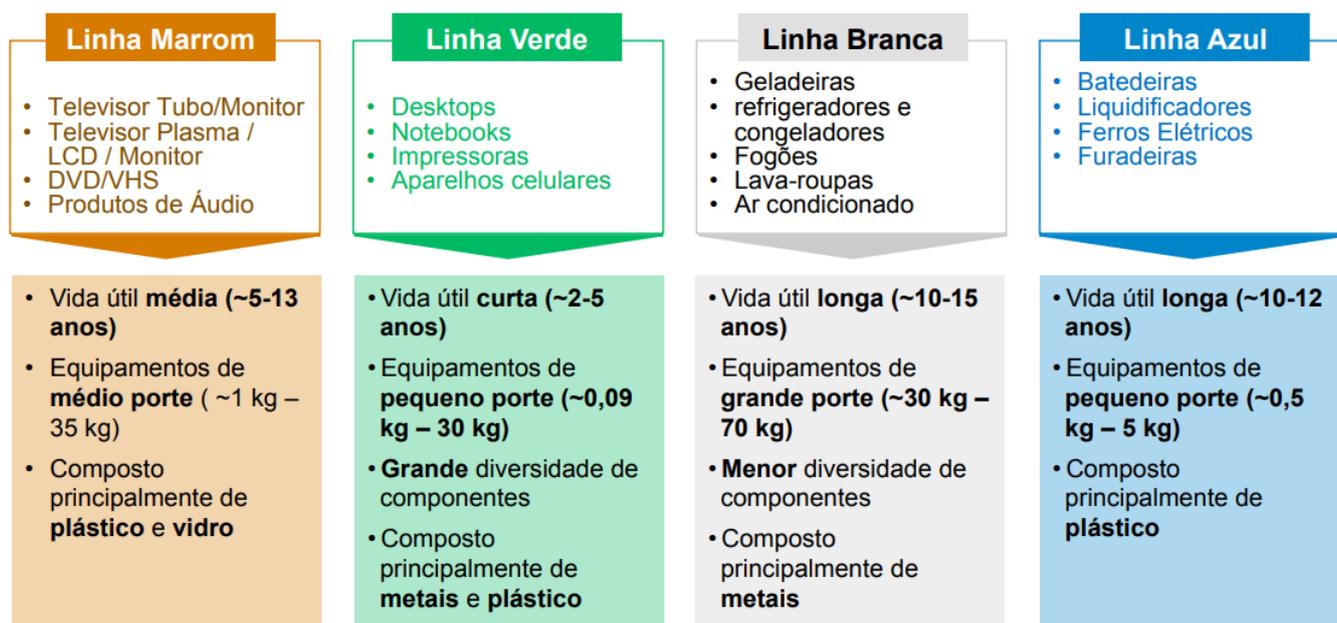
Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE)

Os equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) tem a sua definição contemplada pelo Decreto nº 10.240/2020, onde em seu Art. 3º e inciso XIV, define os produtos eletrônicos como

sendo “equipamentos de uso doméstico cujo funcionamento depende de correntes elétricas com tensão nominal de, no máximo duzentos e quarenta volts”. Enquanto que os componentes destes equipamentos eletrônicos são definidos no mesmo artigo, no inciso III como sendo as “peças, materiais, substâncias e partes fixas não removíveis que constituem e integram a estrutura física dos produtos eletroeletrônicos e cuja ausência compromete o uso adequado dos produtos”.

Esses equipamentos são divididos em quatro categorias, de acordo com suas características, conforme apresentado na Figura 1. Os eletroeletrônicos da linha verde são de pequeno porte, como notebooks, desktops, aparelhos celulares e impressoras; os da linha marrom são de médio porte, como televisores, monitores e produtos de áudio; os da linha branca são de grande porte, como geladeiras, fogões e ar condicionado; e os da linha azul, também são de pequeno porte e incluem batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos e furadeiras (ABDI, 2013).

Figura 3: Representação esquemática das categorias dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) por suas linhas.



Fonte: Inventta (2012).

Deste modo, os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) apresentam uma gama diversa de materiais em sua constituição e que alguns são classificados como preciosos ou valiosos, o que fomenta a prática da Mineração Urbana. Essa consiste no reaproveitamento desses materiais, a partir de equipamentos elétricos e eletrônicos pós-consumo. Tal prática torna estes resíduos matéria-prima e evita que mais metais sejam extraídos

da natureza, minimizando, deste modo, os impactos ambientais causados pela mineração convencional (XAVIER; LINS, 2018).

Mineração Urbana

Podem ser encontrados nos REEE uma diversa gama de metais perigosos (como mercúrio, chumbo, alumínio e cádmio), por isso, quando descartados indevidamente, junto com outros resíduos urbanos, a céu aberto ou queimados, os REEE podem atingir águas superficiais e subterrâneas, contaminando-as, também podem acidificar rios, afetando sua fauna e sua flora. Além de afetar o ar e causar diversas doenças, o alumínio, por exemplo, pode provocar seborreia, envelhecimento precoce, irritabilidade e deslocamento de cálcio e magnésio dos ossos (PASCALICCHIO, 2002).

Além desses, os REEE também são compostos por materiais poliméricos, cerâmicos (vidro e telas), ferro e suas ligas e metais preciosos (como ouro, prata, paládio e platina), sendo esta última classe, o tipo de material que desperta maior interesse devido ao seu alto valor de comercialização. Tal conjuntura favorece a prática da mineração urbana, na qual é viável obter a mesma quantidade de metais, com um volume menor de resíduos, do que de minérios na mineração convencional com custos consideravelmente atrativos, conforme apresentado na Tabela 1. A concentração de materiais de alto valor é quatro ordens de grandeza maior nos resíduos (DIAS et al., 2018).

Tabela 2: Relação do teor de alguns dos principais elementos químicos de interesse encontrados em minérios e em resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE).

| ELEMENTO | TEOR MÍNIMO MÉDIO DO MINÉRIO (%) | TEOR MÉDIO EM REEE* (%) | REEE / MINÉRIO |
|----------------|----------------------------------|-------------------------|----------------|
| Cobre (Cu) | 0,5 | 10-20 | 20-40 |
| Ferro (Fe) | 30 | 1-5 | 0,167-0,033 |
| Alumínio (Al) | 30 | 2-6 | 0,2 |
| Zinco (Zn) | 4 | 0,5-6 | 1,5 |
| Níquel (Ni) | 1 | 0,1-2,5 | 2,5 |
| Estanho (Sn) | 0,5 | 1,5-8 | 16 |
| Chumbo (Pb) | 4 | 0,3-5 | 1,25 |
| Antimônio (Sb) | 3 | 0,2-1,8 | 0,6 |
| Ouro (Au) | 0,0001 | 0,002-0,03 | 300 |
| Prata (Ag) | 0,01 | 0,03-0,3 | 30 |
| Paládio (Pd) | 0,0001 | 0,001-0,02 | 200 |
| Índio (In) | 0,001 (minério de zinco) | 0,02-0,04** | 40 |

*Valores mínimos e máximos de fluxo heterogêneo de REEE, placas de circuito impresso de PCs, telefones celulares e outros eletrônicos.

**Conteúdo de índio em telas de cristal líquido (LCD).

Fonte: Tradução livre e adaptado de Ebin e Isik (2016).

Contexto brasileiro e local

De acordo com o último levantamento realizado pelo *The Global E-Waste Monitor* em 2020, a América do Sul gerou em 2019 aproximadamente 4 Mt de REEE, com uma proporção de 9,1 kg *per capita*. No entanto, menos de 1% dos REEE's na região foram coletados, apropriadamente tratados e documentados (apenas 0,03 Mt). Destaca-se, no entanto, que mais da metade de todo o REEE gerado na América do Sul é atribuído ao Brasil (53%), com uma proporção entre 10 a 15 kg de REEE *per capita* (FORTI et al., 2020).

Localmente, Ilhéus é um município brasileiro geograficamente localizado no litoral sul da Bahia, abrangendo uma área de 1.588,555 km², localizando-se a 314 km de Porto Seguro e a 454 km de Salvador, a capital do estado. Possui uma população estimada para 2021 de 157.639 pessoas, com a taxa de 96,7% de escolarização dos habitantes de 6 a 14 anos de idade, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Apesar de ser considerada a capital do cacau e a terra do chocolate, Ilhéus possui um importante parque industrial, compreendendo o Polo de Informática, Eletrônico e de Telecomunicações da Bahia. Atualmente possui 19 empresas em funcionamento dos mais diversos ramos (químico, alimentício, marmoreira e informática), destacando-se as plantas fabris da DATEN e da Login.

METODOLOGIA

A variedade de equipamentos elétricos e eletrônicos e de seus possíveis destinos, torna a avaliação qualitativa um grande desafio. Deste modo foi realizada uma pesquisa de campo para o mapeamento das lojas de conserto e demais empresas que trabalham e/ou coletam esses tipos de equipamentos:

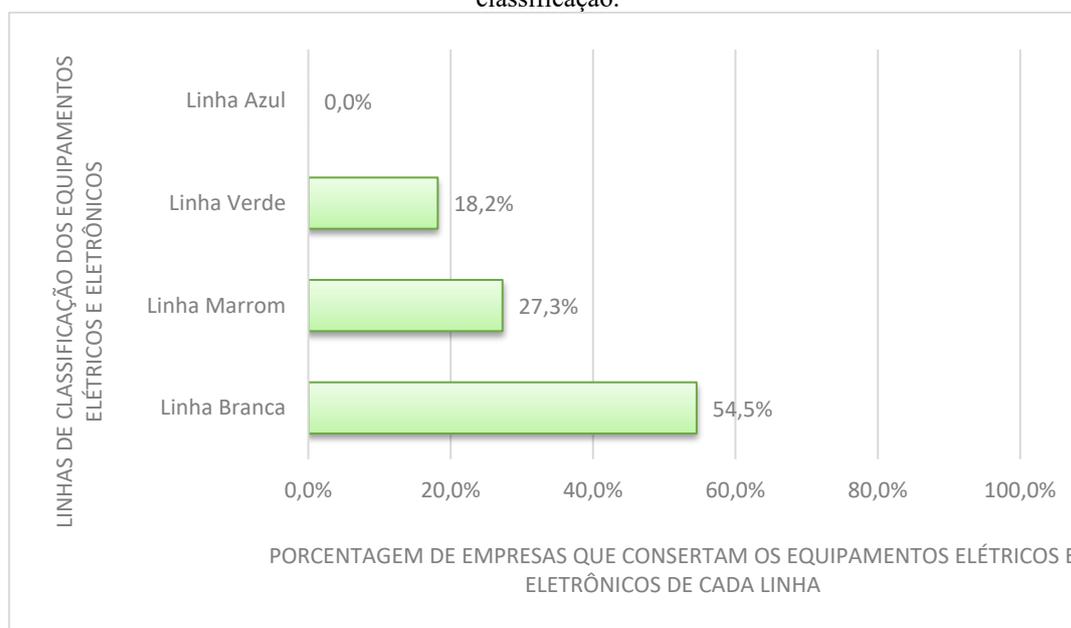
- *Lojas de conserto*: inicialmente foram identificadas as lojas localizadas na região de comércio central de Ilhéus/BA, sendo obtida a indicação de outras lojas localizadas no interior dos bairros que trabalham com seguimentos correlatos. Foram identificados um total de 7 estabelecimentos nas proximidades da Avenida Itabuna;
- *Empresas e instituições de coleta de REEE*: foi feito o levantamento por meio de visitas in loco para a observação das opções disponíveis quanto ao tipo de coleta e destinação dos diversos REEE.

Após mapeamento e identificação prévia dos locais que são objeto de estudo, foram realizados questionários (Certificado de Apresentação de Apreciação Ética:

De acordo com os entrevistados das lojas de conserto visitadas, as maiores dificuldades em relação ao gerenciamento dos resíduos são os poucos processadores locais (42,9%), falta de tempo (42,9%) e a falta de funcionários habilitados para lidar com os equipamentos (14,3%). Todos os estabelecimentos conhecem os perigos do descarte e do armazenamento inadequado dos resíduos eletroeletrônicos, mas apenas dois deles não os armazenam em suas dependências.

Das empresas que participaram da pesquisa, nenhuma atua com equipamentos pertencentes à linha azul (batedeiras, liquidificadores e ferros de passar, por exemplo). A maior parte das empresas trabalha com equipamentos da linha branca (geladeiras, refrigeradores, fogões, etc), seguido de equipamentos da linha marrom (televisores, monitores diversos e aparelhos de DVD/VHS, por exemplo) e linha verde (computadores de mesa, notebooks, celulares, etc), conforme apresentado no gráfico presente na Figura 3.

Figura 5: Porcentagem de empresas que atuam no conserto de equipamentos elétricos e eletrônicos por linha de classificação.



Fonte: Dados da pesquisa tratado pelos autores.

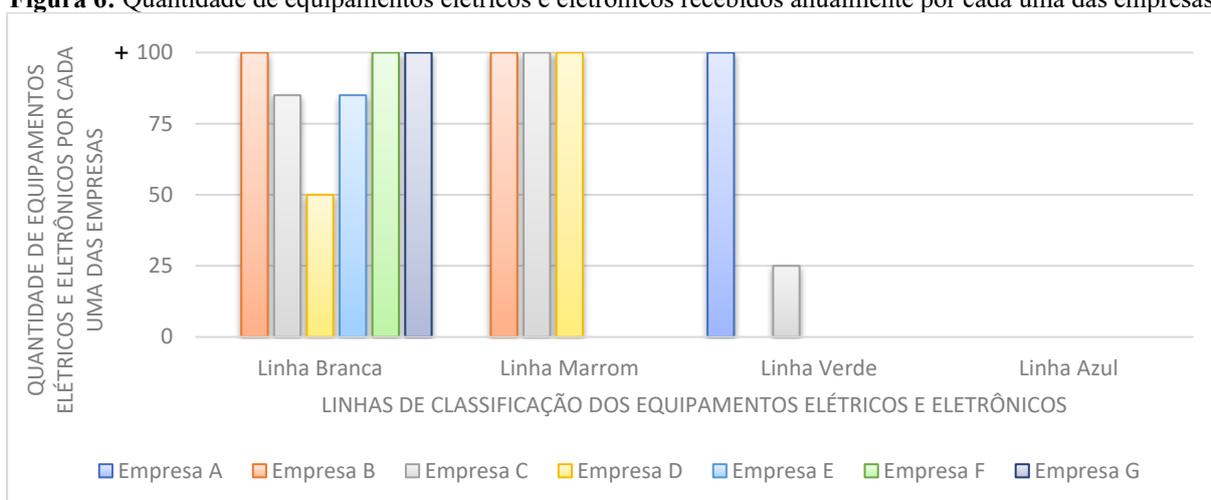
É comum as empresas atuarem com equipamentos pertencentes a mais de uma linha, como a associação da linha branca com a linha marrom, por exemplo. Enquanto as empresas que atuam com equipamentos com maior complexidade tecnológica, como os da linha verde, tendem a não atuar com itens dos demais nichos.

Para os estabelecimentos avaliados na região central, os equipamentos da linha azul, talvez por serem equipamentos de relativa facilidade em ser substituídos, podem não chegar aos pontos de conserto e/ou reparo. Provavelmente tais equipamentos são descartados

irregularmente como resíduo sólido doméstico comum e destinado aos lixões e aterros sanitários.

Também foi questionada a quantidade anual que cada uma das empresas recebiam os equipamentos elétricos e eletrônicos para conserto, conforme apresentado na Figura 4. Diferente do convencional, a Empresa C atua no conserto de equipamentos elétricos e eletrônicos das linhas branca, marrom e verde, recebendo uma maior quantidade de televisores e monitores para reparo.

Figura 6: Quantidade de equipamentos elétricos e eletrônicos recebidos anualmente por cada uma das empresas.



Fonte: Dados da pesquisa tratado pelos autores.

Salienta-se que todos os entrevistados concordaram que os equipamentos têm mostrado maior complexidade para o conserto. Disseram notar um aumento da demanda recebida para o conserto dos REEE nos últimos cinco anos, principalmente na pandemia da COVID-19. Tal situação foi unânime, com exceção apenas de um estabelecimento que diz não ter notado esse aumento.

Parte dos equipamentos, embora menor do que 10%, são deixados nas lojas de conserto, conforme apresentado na Tabela 2. Tal prática, apesar de favorecer para a geração de resíduos nas empresas, possui aspectos positivos, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, uma vez que ali mesmo já podem ser realizados os reaproveitamentos de peças e carcaças para o reparo de novos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE).

Quando o conserto dos EEE não é possível, os mesmos se tornam resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). A maior parte dos locais de conserto questionados (42,9%) encaminha os REEE para empresas processadoras deste tipo de resíduo no próprio estado. Outro destino comum é o envio desses resíduos para o ferro velho (28,5%), sendo

seguido do encaminhamento para a sede da empresa em outro endereço (14,3%) ou mesmo encaminhado à sucata (14,3%).

Tabela 3: Informações sobre os equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) que não passíveis de conserto, reutilização de peças e envio para o destino final.

| Empresas | Proporção dos EEE que ficam no estabelecimento | Porcentagem das peças que podem ser aproveitadas | Frequência do encaminhamento dos REEE para o destino final |
|----------|--|--|--|
| A | Menor que 10% | Maior que 50% | Seis meses |
| B | Menor que 10% | Entre 10 e 50% | Três meses |
| C | Entre 10 e 50% | Entre 10 e 50% | Três meses |
| D | Menor que 10% | Menor que 10% | Um mês |
| E | Entre 10 e 50% | Maior que 50% | Tempo indeterminado |
| F | Menor que 10% | Menor que 10% | Seis meses |
| G | Menor que 10% | Menor que 10% | Um mês |

Fonte: Dados da pesquisa tratado pelos autores.

Somando-se a quantidade de REEE gerados anualmente somente na atividade dos referidos estabelecimentos, seriam mais de 150 equipamentos da linha branca, mais de 60 da linha verde e 240 da linha marrom com potencial para serem utilizados como matéria-prima para empresas recicladoras locais.

Empresas/instituições que possuem ponto de coleta de REEE

As duas empresas entrevistadas possuem ponto de coleta aberto ao público. Afirmam realizar algum tipo de tratamento dos resíduos coletados e conhecer os perigos do descarte e do armazenamento incorreto, sendo que uma delas armazena os REEE em suas dependências, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 4: Empresas/instituições que possuem ponto de coleta de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE).

| Empresas | Equipamentos recebidos | Quantidade média recebida por ano | Destinação dos REEE | Frequência do envio dos REEE para o destino final |
|----------|--|-----------------------------------|---|---|
| H | Linha verde (celulares, tablets, smartphones), pilhas e baterias | Entre 10 e 20, entre 50 e 100 | Empresas processadoras de REEE fora do estado | Três meses |
| I | Pilhas | Entre 100 e 200 | Não sabe informar | Tempo indeterminado |

Fonte: Dados da pesquisa tratado pelos autores.

Os resultados mostraram que a Empresa H é ponto de coleta de REEE da linha verde e também de pilhas e baterias, recebendo entre 10 e 20 unidades por ano de REEE, e entre 50 e 100 unidades de pilhas e baterias por ano. Enquanto a Empresa I possui um ponto apenas para recebimento de pilhas, um montante anual de 100 a 200 unidades.

CONCLUSÃO

Após finalizar os estudos do cenário de resíduos elétricos e eletrônicos na região central do município de Ilhéus/BA, em empresas e instituições que possuem ponto de coleta e em lojas de conserto, foi possível observar alguns pontos que necessitam de maior atenção, como a falta de lojas de conserto para a linha azul na região central, a falta de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) na maioria das empresas consultadas e o descarte inadequado dos equipamentos. Contudo, foram encontradas empresas que têm conhecimento sobre o assunto e procuram realizar o descarte de forma adequada.

No que diz respeito aos equipamentos elétricos e eletrônicos descartados, as empresas de conserto avaliadas geram mais de 450 unidades de REEE por ano e, considerando a baixa porcentagem das lojas de conserto que encaminham seus resíduos para empresas processadoras, uma grande parte desses resíduos podem não receber uma destinação ambientalmente adequada.

REFERÊNCIAS:

ABDI (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). **Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica**. ABDI: Brasília, 2013.

DIAS, P. et al. Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on Brazilian recycling routes. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 7-16, 2018.

EBIN, B.; ISIK, M. I. Pyrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from WEEE. **WEEE Recycling: Research, Development, and Policies**, p. 107-137, 2016.

FORTI, V. et al. **The Global E-waste Monitor 2020**. 1st. ed. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) - Co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2020.

INVENTTA. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de viabilidade Técnica e Econômica**. INVENTTA+: where the innovation lives, 183 p., set, 2012.

MEDEIROS, N. M. **Caracterização e separação física de placas de circuito impresso de computadores obsoletos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2015.

MORAES, D. DA G. E S. V. M. DE; ROCHA, T. B.; EWALD, M. R. Life cycle assessment of cell phones in Brazil based on two reverse logistics scenarios. **Production**, v. 24, n. 4, p. 735–741, 21 mar. 2014.

PANCHAL, R.; SINGH, A.; DIWAN, H. Economic potential of recycling e-waste in India and its impact on import of materials. **Resources Policy**, v. 74, n. March, p. 102264, dez. 2021.

PASCALICCHIO, A. A. E. **Contaminação por metais pesados: Saúde pública e medicina ortomolecular**. São Paulo, Annablume, 132 p., 2002.

RENE, E. R. et al. Electronic waste generation, recycling and resource recovery: Technological perspectives and trends. **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, n. May 2020, p. 125664, 2021.

ROCHA, T. B.; PENTEADO, C. S. G. Life cycle assessment of a small WEEE reverse logistics system: Case study in the Campinas Area, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 314, n. April, p. 128092, set. 2021.

RODRIGUES, A. C.; BOSCOV, M. E. G.; GÜNTHER, W. M. R. Domestic flow of e-waste in São Paulo, Brazil: Characterization to support public policies. **Waste Management**, v. 102, p. 474-485, 2020.

XAVIER, H. L.; LINS, F. A. F. Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. **Brasil Mineral**, n. 379, 2018.

CAPÍTULO 9

RESÍDUO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ: REVISÃO DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES

Amanda Rampelotto de Azevedo
Mariana Vieira Coronas

RESUMO

O Brasil, no continente americano, é o maior produtor de arroz, sendo o Rio Grande do Sul o estado responsável por 79% dessa produção. A casca de arroz (CA) é o subproduto gerado do beneficiamento do arroz, sendo a casca e grão representado cerca de 23% do peso total. A queima da casca de arroz gera como resíduo a cinza da casca de arroz (CCA), correspondente a 4% da massa de arroz em casca. O objetivo deste estudo foi fazer uma revisão da literatura sobre as principais aplicações da cinza da casca de arroz como alternativa ao descarte desse resíduo. A pesquisa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico nas bases de dados Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, sendo utilizado os últimos 22 anos de pesquisa e como ferramenta da pesquisa aplicados os termos: Cinza de casca de arroz; Caracterização da CCA; Alternativas para a CCA; Rice Husk Ash e Rice Husk Ash Alternatives. A partir da revisão de 48 estudos se fez o levantamento das principais aplicações para a CCA. Dentre as principais aplicações da CCA encontradas foram a utilização como substituto parcial do cimento e argamassa em materiais de construção; na confecção de vidrarias; como material adsorvente na remoção de poluentes; adição em solos agrícolas. A CCA é material viável e de fácil acesso. Considerando a relevância do consumo e, conseqüentemente, a produção do arroz, especialmente no sul do Brasil, alternativas sustentáveis devem considerar alternativas aos seus resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa* L. Cinza da casca de arroz. Resíduos agrícolas. Aplicações.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal considerado o alimento básico diário para a população brasileira, atingindo um consumo médio de 45 kg ao ano de arroz beneficiado (FERREIRA et al., 2005). O grão do arroz é composto principalmente por proteínas, carboidratos e lipídios, estando presente na dieta da população, é responsável por fornecer 715kcal per capita por dia (WALTER et al., 2008).

A produção de arroz no Brasil estimada para a safra de 2021/22 é de 10,6 milhões toneladas, com uma redução de 10,1% em relação à safra 2020/21. O estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz nacional, representando em média 58% da produção (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2022). Nesse Estado predomina o cultivo do arroz irrigado, sendo a orizicultura irrigada responsável por 79% da produção

nacional. Por outro lado, outro grande ecossistema para a cultura é de terras altas ou sequeiro, cultivado principalmente em regiões do cerrado em áreas de pastagem degradadas e solos com alta acidez (FAGERIA; STONE, 1999).

A casca de arroz (CA) é o subproduto gerado do beneficiamento do arroz, sendo a casca e grão representado cerca de 23% do peso total (DELLA et al. 2001). A produção de resíduo de CA estimada para a safra de 2021/22 no Brasil é de 2,4 milhões de toneladas. O uso da CA está potencializado na produção de energia elétrica, secagem de grãos em fornos e na formação de camas de aviário, mas também tem sido amplamente encontrada em estudos utilizando a CA para remover metais pesados da água, fabricação de materiais de construção, produção de bioetanol, entre outros (ZUQUINAL, 2016; OCHÔA; MARTINS 2015; GLAVINA, et al., 2018; TOKAY, AKPINAR, 2021; MILANI; FREIRE, 2006; DINIZ, 2005).

A queima da CA gera como resíduo a cinza da casca de arroz (CCA), correspondente a 4% da massa de arroz em casca (DELLA et al., 2005). A estimada produção de CCA, considerando se toda CA fosse queimada, seria de 97 mil toneladas de cinza produzidos na safra de 2021/22 no Brasil. Grandes quantidades desse resíduo ainda são descartadas no ambiente, podendo ser dispersas pelo vento, contaminar solo, poluir mananciais de água e outros problemas ambientais (SOUZA et al., 2014). A CCA possui como principal componente o Dióxido de silício (SiO_2) e sua aplicação está concentrada na confecção de materiais com formulações a base de sílica (CAMILO, 2018). Outras aplicações para a CCA é o uso como substituto parcial do cimento e argamassa em materiais de construção; na confecção de vidrarias; como material adsorvente na remoção de metais, fenólicos corantes têxteis, resíduos, compostos orgânicos em soluções e adição a solos agrícolas e aplicação de CCA em solo. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi fazer uma revisão da literatura sobre as principais aplicações da cinza da casca de arroz e apresentar alternativas ao descarte desse resíduo.

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada por meio de levantamento bibliográfico nas bases de dados Google Acadêmico, Web of Science e Scopus, sendo utilizado os últimos 22 anos e como ferramenta de pesquisa os termos: Cinza de casca de arroz; Caracterização da CCA; Alternativas para a CCA; Rice Husk Ash e Rice Husk Ash Alternatives. As monografias de trabalho de conclusão de curso, dissertações e teses, resumos e trabalhos publicados em anais de eventos científicos também foram consideradas nesse levantamento com os termos em

português. A partir da revisão de 48 estudos se fez o levantamento das principais aplicações para a CCA.

SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO E ARGAMASSA

A sílica (SiO_2) é o composto abundante na CCA com teores de até 97,87 % (DELLA et al., 2001). A CCA é uma pozolana, e a aplicação desse resíduo está potencialmente concentrado na confecção de cimento e argamassa. Camilo (2018) investigou a produção de argamassa com diferentes proporções de CCA na formulação, concluindo que a resistência da argamassa na composição de 10 % e 20 % de CCA é semelhante, porém menor, que a resistência da argamassa de referência (sem adição de CCA).

Daros (2019) estudou os efeitos da aplicação de dois tipos de CCA no concreto, uma amostra proveniente de um engenho beneficiador do grão, e a outra amostra proveniente de uma usina termoeletrica. Os resultados do estudo indicaram que, para qualquer tipo de cinza analisada, o uso de 10 % de CCA na composição de concreto, possui resistência a compressão, mostrando ser viável o seu uso na substituição parcial do cimento. Olivo (2020) comparou a influência da temperatura de queima da CCA no desempenho de argamassa mista de revestimento. Foram analisadas quatro cinzas, sendo três dessas resultado da calcinação controlada em temperaturas de 300, 400 e 500 °C por 90 minutos, e a quarta residual. A autora concluiu que a CCA residual, sem controle de temperatura, pode ser utilizada em proporção de 15 % nas argamassas de revestimento. Lo et al., (2021) avaliaram a CCA como substituto parcial do cimento Portland na confecção de concreto permeável, concluindo que a CCA pode ser considerada um material pozolânico.

Umasabor e Okovido, (2018) investigaram a resistência ao fogo de concretos de CCA, concluindo que o concreto de cimento combinado com a substituição de 5 % de CCA submetido a temperaturas de até 700 °C por duas horas apresentou maior capacidade de resistência à compressão que o concreto confeccionado de cimento Portland comum. Jung et al. (2018) avaliaram a substituição parcial do cimento Portland pelas CCA e pelo pó de cal e constataram que a adição de 10 % de CCA e 10 % de pó de cal na formulação melhora a resistência do concreto e forma um gel em torno das partículas que indica uma maior resistência a rachaduras. Gautam et al., (2019) substituíram parcialmente o cimento Portland pela CCA para a obtenção de um concreto com resistência semelhante ao concreto convencional. Os autores concluíram que o nível ideal de substituição de CCA para a confecção do concreto é de 7,5 %. Ahsan e Hossain, (2018) investigaram o uso da CCA como material suplementar para a substituição

parcial do cimento, e constataram que uma mistura produzida a partir de 10 % de CCA, apresentando coloração cinza escuro, pode ser utilizada em obras de calçadas, enquanto a outra CCA, de coloração mais clara, pode ser utilizada como substituto parcial do cimento. Principais resultados dos trabalhos analisados na literatura que utilizaram a CCA como substituto parcial do cimento e argamassa são apresentados no Tabela 1.

Tabela 1: Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre utilização da cinza da casca do arroz (CCA) como substituto parcial do cimento e argamassa.

| Substituto parcial do cimento e argamassa | |
|---|--------------------------|
| Principais resultados | Autor (es) |
| Resistência da argamassa na composição de 10 % e 20 % de CCA. | CAMILO (2018) |
| Uso de 10 % de CCA na composição de concreto. | DAROS (2019) |
| Uso de 15 % de CCA residual nas argamassas de revestimento. | OLIVO (2020) |
| CCA pode considerado um material pozolânico. | LO et al., (2021) |
| Concreto de cimento combinado com a substituição de 5 % de CCA. | UMASABOR; OKOVIDO (2018) |
| Adição de 10 % de CCA e 10 % de pó de cal na formulação do cimento. | JUNG et al. (2018) |
| Substituição de 7,5 % de CCA para a confecção do concreto. | GAUTAM et al., (2019) |
| Uso de 10 % de CCA, pode ser utilizado em obras de calçadas ou substituto parcial do cimento. | AHSAN; HOSSAIN (2018) |

Fonte: Autoras.

A CCA possui em sua composição altos teores de Dióxido de Silício (SiO₂) e, assim, fica evidente o potencial da utilização desse resíduo em materiais de construção a base de sílica. Além disso, também apresenta propriedades para ser utilizado como corretivo dos solos. Muitos estudos indicam o potencial desse resíduo para a adsorção de contaminantes presentes em efluentes e na água. Ao mesmo tempo, considerando esses componentes, o descarte incorreto do resíduo também apresenta potencialidade de risco para o ambiente.

PRODUÇÃO DE VIDRARIAS

A sílica extraída da CCA pode ser utilizada na confecção de vidros como substituto a outros materiais convencionais, por exemplo, a areia. Gonçalves (2019) realizou a extração da sílica da CCA para a fabricação de vidros, e observou que a transparência do vidro aumenta em temperaturas de 600 e 800 °C, e também, com a lavagem ácida da casca de arroz. Lima et al. (2020) também visaram a produção de vidros a partir da sílica obtida da CCA, constatando que a adição de antimônio aumenta a coloração transparente de vidros, tornando-se uma alternativa viável e sustentável. Kaewkhao e Limsuwan (2012) objetivaram a fabricação de vidros coloridos a partir da sílica da CCA, obtendo vidros de cor azul claro, azul escuro, marrom, rosa, verde e incolores.

Os vidros bioativos são materiais utilizados como substituto ósseo, por representarem uma classe de material biocompatível, ou seja, que apresenta interações com o sistema biológico é utilizado em implantes de enxerto ósseo (DA CRUZ et al., 2006). Kopp et al. (2015) utilizaram a sílica oriunda da CCA para a fabricação de vidros bioativos, concluindo que é possível a confecção do material, a partir da sílica de CCA oriundas da indústria beneficiadora de arroz, mediante a pré-tratamentos da cinza. Na Tabela 2 são apresentados os autores e principais resultados obtidos para a produção de vidrarias a partir da sílica extraída da CCA.

Tabela 2: Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre produção de vidrarias a partir da sílica extraída da CCA.

| Produção de vidrarias | |
|--|---------------------------|
| Resultados | Autor (es) |
| Transparência do vidro em temperaturas de 600 e 800 °C, e com a lavagem ácida da casca de arroz. | GONÇALVES (2019) |
| Adição de antimônio aumenta a coloração transparente de vidros da sílica da CCA. | LIMA et al. (2020) |
| Obtenção de vidros de cor azul claro, azul escuro, marrom, rosa, verde e incolores da sílica da CCA. | KAEWKHAO; LIMSUWAN (2012) |
| Fabricação de vidros bioativo a partir da sílica da CCA. | KOPP et al. (2015) |

Fonte: Autoras.

O uso da sílica extraída da CCA para a produção de vidrarias resulta na confecção de vidros transparentes e coloridos. A transparência dos vidros aumenta conforme realização de um pré-tratamento da casca de arroz. Este tratamento corresponde a lavagem da casca de arroz com intuito da remoção de impurezas e, conseqüentemente, aumentando a pureza da sílica extraída da CCA. Além disso, a aplicação desse resíduo na confecção de materiais, reduz o preço de produção e aquisição do produto, além de reduzir o esgotamento dos recursos naturais para a produção (areia).

USO DA CINZA COMO MATERIAL ADSORVENTE

A quantidade de material adsorvida pela CCA, depende da maior área superficial disponível para a adsorção, e, da temperatura de queima da casca de arroz. Altas temperaturas de queima diminuem a área de superfície e diâmetro de poros da CCA, tornando um material de menor adsorção (KIM, 2008).

Manique (2011) utilizou a CCA como material adsorvente para a purificação do biodiesel obtido a partir da reação química do óleo residual de fritura com metanol. O uso da CCA para remover compostos orgânicos e inorgânicos mostrou ser eficaz, além de que, a CCA

possui grande diâmetro de poros adsorvendo as impurezas, é um resíduo agroindustrial de baixo custo.

Caetano et al. (2018) utilizou as CCA como tratamento para remediação de águas subterrâneas contaminadas com metais. O indicativo de toxicidade de águas subterrâneas contaminadas foi analisado através do ensaio ecotoxicológico com bulbos da espécie vegetal *Allium cepa* (cebola). O estudo indicou que a CCA é um resíduo com alto potencial de aplicação na remoção de metais de águas subterrâneas contaminadas. Além disso, o ensaio ecotoxicológico com o bioindicador mostrou que o tratamento BTEX100 (Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno não diluído em água) resultou em maiores valores para a inibição de crescimento de raiz para o desenvolvimento da cebola. Kieling et al., (2019) também utilizaram bulbos da cebola como bioindicador de controle de toxicidade do efluente e águas contaminadas por Cromo (Cr) e tratados por CCA. O uso da CCA para remoção do Cromo (Cr) teve sua melhor eficiência em tratamentos onde o pH foi de 1 e 2, acima desses valores se tinha a neutralização dos íons responsáveis pelo processo de adsorção. Contudo, para os ensaios de toxicidade com a cebola, os melhores resultados do índice de germinação (IG) foram obtidos com pH 7, independente da concentração de Cr na solução.

Além de estudos avaliando a remoção de metais, foi também investigado o uso da CCA para remoção de corantes têxteis em soluções (BARCELLOS, 2009). A eficácia da CCA como adsorvente de soluções de corantes reativos (azul e amarelo), empregado no tingimento de fibras de algodão, foi analisado e os resultados indicaram uma eficiência na remoção dos corantes reativo amarelo e azul, chegando em uma eficiência de até 96,2 % na remoção do corante reativo azul (BARCELLOS, 2009). Engel (2018) estudou a aplicação da CCA como material adsorvente de corantes Rodamina-B e Azul de Metileno de meio aquoso, obtendo resultados positivos na aplicação da CCA como material adsorvente. Silva et al. (2016) também analisou os efeitos de adsorção da CCA sob o corante Azul de Metileno. O estudo indicou que após 2 horas de tempo de contato a adsorção diminuiu, contudo, a CCA possui potencialidade na adsorção de corante. Os trabalhos analisados na literatura que avaliaram o uso da CCA como material adsorvente e seus principais resultados são apresentados no Tabela 3.

Tabela 3: Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre uso da CCA como material adsorvente.

| Uso da cinza como material adsorvente | |
|--|-----------------------|
| Resultados | Autor (es) |
| Purificação do biodiesel a partir da adsorção pela CCA de compostos orgânicos e inorgânicos. | MANIQUE (2011) |
| Remoção de metais de águas subterrâneas contaminadas a partir da CCA. | CAETANO et al. (2018) |
| Remoção do Cromo (Cr) em pH foi de 1 e 2 a partir da CCA. | KIELING et al. (2019) |
| Remoção de corantes têxteis (azul e amarelo) em soluções pela CCA. | BARCELLOS (2009) |
| Remoção dos corantes Rodamina-B e Azul de Metileno de meio aquoso. | ENGEL (2018) |
| Remoção do corante Azul de Metileno. | SILVA et al. (2016) |

Fonte: Autoras.

A adsorção de poluentes presentes em águas pela CCA é eficaz, contudo, não significa que o efluente poderá ser descartado no ambiente após esse tratamento. Nesse contexto, se faz necessário novas avaliações para mensurar os contaminantes ainda presente no efluente, para que assim, possa ser descartado sem apresentar risco para o ambiente.

EFEITOS DA CINZA NO AMBIENTE

O conhecimento sobre os efeitos da CCA para os sistemas biológicos ainda é incipiente na literatura (Tabela 4). Brandalise (2018) investigou os efeitos ecotoxicológicos das CCAs, oriundas de três processos de queima, nas espécies vegetais *Lactuca sativa* L (alface); *Allium cepa* L. (cebola) e *Brassica oleracea* L. (repolho). Foi avaliada a fitotoxicidade nas três espécies vegetais, a citotoxicidade e a genotoxicidade na cebola. Os resultados do estudo indicaram que a CCA, proveniente da temperatura de queima de 800 – 900 °C e tempo de queima de 15 a 20 minutos, restringem a germinação e crescimento radicular, apresentando efeito fitotóxico sobre a alface, cebola e repolho e, que a CCA, contém elementos bioativos que inibem a divisão celular e o desenvolvimento dos vegetais, apresentando citotoxicidade para a cebola. Lou et al. (2013), constataram que a alta dose (5 mg/ml) de cinza de palha de arroz reduz significativamente a densidade celular de cianobactérias. Em outro trabalho, verificou-se os benefícios ambientais recorrentes da aplicação da CCA na agricultura, entre estes, foram destacados a redução da aplicação de insumos, fertilizantes e ingredientes ativos em solos (SANTOS, 2011). Contudo, apesar da CCA aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes no solo, como o potássio (P) e silício (Si), também há o efeito residual da CCA nos solos, podendo promover a lixiviação de solos que possuem baixa adsorção de nutrientes (KATH et al., 2017). Nesses casos, o controle devido ao escoamento para lagos e rios, além dos efeitos da biota do solo, é fundamental para garantir os benefícios e reduzir os efeitos.

Tabela 4: Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre efeitos da CCA no ambiente.

| Efeitos da cinza no ambiente | |
|---|--------------------|
| Resultados | Autor (es) |
| As CCAs restringem a germinação e crescimento radicular, apresentando efeito fitotóxicos sobre a alface, cebola e repolho e, a CCA, contém elemento bioativos que inibem a divisão celular. | BRANDALISE (2018) |
| Altas doses (5 mg/ml) de cinza de palha de arroz reduz significativamente a densidade celular de cianobactérias. | LOU et al. (2013) |
| Uso da CCA reduz a aplicação de insumos, fertilizantes e ingredientes ativos em solos. | SANTOS (2011) |
| Uso da CCA aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes no solo, como o potássio (P) e silício (Si). | KATH et al. (2017) |

Fonte: Autoras.

A CCA possui efeitos ecotoxicológicos detectados em ensaios realizados em espécies vegetais (alface, cebola e repolho), enquanto a cinza de palha de arroz (CPA) também apresentou efeitos ecotoxicológicos para cianobactérias (Tabela 4). Para resultados mais abrangentes dos efeitos desses resíduos para os sistemas biológicos, faz-se necessário estudos que avaliem o potencial risco da CCA ou da CPA em bioindicadores.

OUTRAS APLICAÇÕES

A incorporação em solos agrícolas é uma das destinações da cinza da casca de arroz (Tabela 5). A CCA pode ter efeitos positivos nas propriedades físicas e químicas do solo e em culturas aumentando a produtividade. A aplicação desse resíduo nos solos, devidamente manejado, pode contribuir na redução de aplicação de insumos agrícolas, reduzindo o custo de produção e tornando um cultivo mais sustentável (SANTOS 2011; DONEGÁ et al., 2011; MARTINS FILHO et al., 2020; STRACKE et al., 2020; CASTELLANOS et. al., 2016).

Os compósitos de epóxi são polímeros com alto valor agregado devido às suas características de resistividade, adesão e boas propriedades mecânicas. A sílica é um material utilizado na matriz epóxi com intuito de melhorar as características do produto, reduzindo seu custo (BRAY et al. 2013). A sílica da CCA tem comportamento semelhante da sílica convencional utilizada na matriz epóxi (FERNANDES, 2015) podendo ser usada como substituto na confecção do material (BORGES, 2013; BORGES et al., 2013) e, em outros compósitos poliméricos (FERNANDES et al., 2014). Além dos compósitos poliméricos, a sílica extraída da CCA pode ser utilizada na fabricação de tinta industrial do tipo epóxi, para confecção de pisos de concreto, devido as suas características de resistência ao desgaste (STRACKE et al., 2018).

As membranas cerâmicas são utilizadas para auxiliar os processos de microfiltração de líquidos por apresentarem características de resistividade a altas temperaturas e pressão, serem inertes e estáveis (FERREIRA, 2018). As membranas cerâmicas porosas encontradas comercialmente tem em sua composição alumina, zircônia, titânia, sílica (CHAVES, 2013). O uso da sílica da CCA na fabricação das membranas cerâmicas porosas foi testado em estudo e constatada sua eficácia, além de baixar o custo do material (RAYCHAUDHURI, 2020).

Os blocos de concreto convencionais são constituídos basicamente por três componentes, cimento, água e agregados (areia, pó de pedra e brita) (GHISLENI; LIMA, 2020). A inserção de outros tipos de aglomerantes nos tijolos de concreto, como a CCA, torna-se interessante, uma vez que não altera as propriedades físicas e mecânicas do material, reduz o consumo de areia na confecção e ainda, a CCA pode ser utilizada na pigmentação dos blocos de concreto (IACKS et al. 2019). Estudos indicam que a CCA também pode ser empregada na substituição parcial do cimento para a confecção de tijolos ecológicos (BARROS, 2016).

Tabela 5: Principais resultados e respectivos autores do levantamento bibliográfico sobre outras aplicações para a CCA encontradas na literatura.

| Outras aplicações | |
|--|---|
| Resultados | Autor (es) |
| A CCA forma uma camada de cobertura diminuindo a compactação. Correção do pH do solo e redução da incidência de fungos na cultura. | SANTOS (2011) |
| A CCA alterou o teor de P no solo, além de aumentar a altura e diâmetro do colmo de milho, massa fresca e seca das raízes e da parte aérea, minimizando os custos com adubação. | DONEGÁ et al. (2011) |
| Uso da CCA redução da acidez do solo e aumento da disponibilidade de nutrientes, melhorando as condições estruturais do solo analisado. | MARTINS FILHO et al. (2020) |
| Quanto maiores as quantidades de CCA aplicadas no solo, maior foi o volume de armazenamento de água e melhor foi o desenvolvimento fisiológico da cultura de soja e rentabilidade da cultura | STRACKE et al. (2020) |
| Sílica da CCA faz aumentar o número de espigas de milho e o peso de mil sementes. | CASTELLANOS et. al. (2016) |
| Uso da sílica da CCA utilizado na matriz epóxi. | BRAY et al. (2013); FERNANDES (2015); BORGES (2013); BORGES et al. (2013) |
| Uso da sílica da CCA na fabricação de tintas industrial do tipo epóxi. | STRACKE, et al. (2018) |

| | |
|---|---------------------|
| Uso da sílica da CCA na fabricação das membranas cerâmicas porosas. | RAYCHAUDHURI (2020) |
| Uso da CCA na confecção e pigmentação de blocos de concreto. | IACKS et al. (2019) |
| Uso da CCA na confecção de tijolos ecológicos. | BARROS (2016) |

Fonte: Autoras.

Nessas outras aplicações envolvendo a substituição parcial de materiais convencionais pela CCA a redução de custos de produção é se apresenta como mais uma vantagem. Cabe ressaltar, que para a produção de blocos de concreto com CCA é necessário que o material possua resistência mínima a compressão ≥ 3 MPa para blocos com função estrutural, conforme as normas da ABNT NBR ISO 6136:2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estado do Rio Grande do Sul é grande produtor de arroz e, conseqüentemente, gerador do resíduo, sendo assim, a oportunidade de aproveitamento energético da casca de arroz vai ao encontro de alternativas sustentáveis para o manejo de resíduos agrícolas. Em todos os processos produtivos há geração de resíduos, na produção agrícola não é diferente e a biomassa excedente das culturas e do seu processamento devem ser devidamente manejadas.

A cinza de casca de arroz é um material de caráter pozolânico e com alto teor de silício (97,87 %), assim, a sua maior potencialidade está concentrada na confecção de materiais com formulações a base de sílica e na aplicação em solos agrícolas como substituto a adubação química. Essa substituição apresentando benefícios para as propriedades físico-químicas dos solos e para o crescimento e desenvolvimento de culturas. A substituição da sílica comercial pela sílica extraída da cinza de casca de arroz, resulta em materiais com características semelhantes reduzindo o custo de produção do produto. Outro interesse comercial é a aplicação da CCA como substituto parcial na confecção de blocos ou tijolos ecológicos, reduzindo o esgotamento dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS:

AHSAN, M. B.; HOSSAIN, Z. Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 1-9, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resolução: ABNT NBR ISO-6136:2016. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro (Brasil): ABNT; 2016.

BARCELLOS, I. O. et al. Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz. **Dynamis**, v. 15, n. 2, p. 1-6, 2009.

BARROS, F. da S. **Efeito da substituição do cimento portland por cinza de casca de arroz e cal nas propriedades de tijolos ecológicos**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2016.

BORGES, G. B. **Adição de cinza de casca de arroz em matriz de epóxi**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2013.

BORGES, G. B.; MORAES, C. A. M.; ROCHA, T. L. A. C. Compósito de cinza de casca de arroz em matriz de epóxi. **12º Congresso Brasileiro de Polímeros- 12ºCBPol**, 2013.

BRANDALISE, J. N. **Avaliação ecotoxicológica da cinza de casca de arroz**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

BRAY, D. J. et al. The modelling of the toughening of epoxy polymers via silica nanoparticles: The effects of volume fraction and particle size. **Polymer**, v. 54, n. 26, p. 7022-7032, 2013.

CAETANO, M. O. et al. Ecotoxicity tests with *Allium cepa* to determine the efficiency of rice husk ash in the treatment of groundwater contaminated with benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 13, p. 12849-12858, 2018.

CASTELLANOS, C. I. S. et al. Aplicação ao solo de cinza de casca de arroz como fonte de silício: efeito na qualidade de sementes de trigo produzidas sob stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 95-104, 2016.

CAMILO, M. G. **Estudo do uso de cinza de casca de arroz como material cimentício suplementar para produção de concreto**. 2018. 38 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2018.

CHAVES, A. C. et al. Obtenção e caracterização de membranas cerâmicas tubulares a partir de massas incorporadas com argila, caulim e quartzo. **Cerâmica**, v. 59, p. 192-197, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: Conab, 2013. v.1, n.1, 102 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

DA CRUZ, A. C. C. et al. Utilização de vidros bioativos como substitutos ósseos: revisão de literatura. **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 18, n. 3, p. 287-95, 2006.

DAROS, M. F. **Investigação da substituição parcial de cimento portland por cinzas de casca de arroz provenientes da região rizicultora sul brasileira**. 2019. 43 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2019.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, v. 10, n. 2, p. 22-25, 2005.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

DONEGÁ M. A. et al. Atributos químicos do solo e crescimento inicial de plantas de milho em Latossolo arenoso com adição de cinza de casca de arroz. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 86, n. 3, p. 192-199, 2011.

ENGEL, K. M. Adsorção dos corantes Rodamina-B e azul de metileno de meio aquoso em cinza de casca de arroz. Salão UFRGS: SIC - XXX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS. Campus do Vale, Porto Alegre, RS, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/191844/Resumo_59795.pdf?sequence=1> .

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão. Documentos**, 1999.

FERNANDES, I. J. et al. Comparação de cinza da casca de arroz e sílica comercial como carga em compósitos poliméricos. **Proceedings of XXI CBECIMAT**, v. 2665, p. 2672, 2014.

FERNANDES, I. J. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de cinza de casca de arroz em matriz epóxi**. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2015.

FERREIRA, E. de P. **Produção de membranas cerâmicas do tipo fibra oca utilizando pentóxido de nióbio**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2018.

GAUTAM, A.; BATRA, R.; SINGH, N. A study on use of rice husk ash in concrete. **Engineering Heritage Journal (January 1, 2019)**, p. 01-04, 2019.

GHISLENI, G.; LIMA, G. T. dos S. Estudo da viabilidade de reutilização da areia de fundição na produção de blocos de concreto e concreto convencional. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 551-570, 2020.

GLAVINA, A. S. G. et al. Avaliação térmica de aviários com painéis de resíduos da agroindústria. **Energia na Agricultura**, v. 33, n. 3, p. 224-230, 2018.

GONÇALVES, J. L. dos S. **Fabricação de vidros utilizando sílica proveniente da cinza da casca de arroz**. 2019. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2019.

IACKS, J. A. et al. Propriedades tecnológicas de blocos de concreto com cinza de casca de arroz destinados a pavimentos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 6, n. 1, p. 22-28, 2019.

JUNG, S. et al. Microstructure characteristics of fly ash concrete with rice husk ash and lime stone powder. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 12, n. 1, p. 1-9, 2018.

KAEWKHAO, J.; LIMSUWAN, P. Utilization of rice husk fly ash in the color glass production. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 670-675, 2012.

KATH, A. H.; TEIXEIRA, J. B. da S.; ISLABÃO, G. O. Efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade de silício e fósforo no solo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 3, p. 15-22, 2017.

KIELING, A. G.; MENDEL, T.; CAETANO, M. O. Efficiency of rice husk ash to adsorb chromium (VI) using the Allium cepa toxicity test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 28, p. 28491-28499, 2019.

KIM, M. et al. Comparison of the adsorbent performance between rice hull ash and rice hull silica gel according to their structural differences. **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, n. 4, p. 701-706, 2008.

KOPP, V. et al. Aproveitamento da sílica da cinza da casca do arroz para obtenção de vidro bioativo. In: 7º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 2., 2015, Alegrete. **Anais do 7º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA**, Alegrete: 2015. p. 1-5.

LIMA, L.; VALSECCHI, C.; DE MENEZES, J. W. Fabricação de vidros utilizando sílica proveniente da cinza de casca de arroz. In: 12º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 2., 2020, Alegrete. **Anais do 12º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA**, Alegrete: 2020. p. 1-2.

LO, F.; LEE, M.; LO, S. Effect of coal ash and rice husk ash partial replacement in ordinary Portland cement on pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 286, p. 122947, 2021.

LOU, L. et al. Ecotoxicological analysis of fly ash and rice-straw black carbon on *Microcystis aeruginosa* using flow cytometry. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 92, p. 51-56, 2013.

MANIQUE, M. C. **Caracterização e utilização da cinza de casca de arroz como adsorvente na purificação de biodiesel de óleo de fritura**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

MARTINS FILHO, M. C. F. et al. EFEITO DA APLICAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ SOBRE ATRIBUTOS DE SOLO SOB PASTAGEM. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 2, p. 146-163, 2020.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

OCHÔA, A. L. da S.; MARTINS, G. **Perspectiva do aproveitamento da casca de arroz como fonte de combustível em fornalhas para secagem de grãos**. 2015. 26 f. Monografia (Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, RS, 2015.

OLIVO, P. **Estudo da influência da temperatura de queima da casca de arroz no desempenho da argamassa de revestimento**. 2020. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2020.

RAYCHAUDHURI, A.; BEHERA, M. Ceramic membrane modified with rice husk ash for application in microbial fuel cells. **Electrochimica Acta**, v. 363, p. 137261, 2020.

SANTOS, C. H. C. **Uso de cinza de casca de arroz na agricultura**. 2011. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santo Antônio da Patrulha, RS, 2011.

STRACKE, M. P.; KIECKOW, F.; SCHMIDT, J. Caracterização, tratamento e utilização da cinza da casca de arroz na produção de tinta. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 1, p. 324-334, 2018.

STRACKE, M. P. et al. Cinza de casca de arroz como reservatório molecular de água para a produção de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 949-962, 2020.

SILVA, G. T. et al. Eficiência adsorviva de cinzas de casca de arroz na remoção de corante Azul de Metileno. 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

SOUZA, J. P. de et al. **A Utilização da Cinza da Casca de Arroz da Região de Dourados em Substituição Parcial ao Agregado Miúdo em Microconcreto: Resistência Mecânica e Durabilidade**. In: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 8., 2014, Dourados. Artigo. Dourados: UFGD, 2014.

TOKAY, B., AKPINAR, I. Um estudo comparativo da remoção de metais pesados usando biossorventes de resíduos agrícolas. **Bioresource technology reports**, v. 15, n., p., 2021.

UMASABOR, R. I.; OKOVIDO, J. O. Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete. **Heliyon**, v. 4, n. 12, p. e01035, 2018.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L. A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1184-1192, 2008.

ZUQUINAL, R. **Utilização da casca de arroz na produção de energia para uma indústria de beneficiamento de arroz Sul catarinense**. 2016. 32 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia), Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2016.

CAPÍTULO 10

FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO ESTADO DO MARANHÃO: OS EFEITOS GERADOS AO MEIO AMBIENTE

Alinne Araújo Freire
Danielle Andrea Pereira Cozzani Campos
Jeovana Thaynara Oliveira Martins
Márcia Cristine Santos Macedo
Thiago Yuri Freire Ferreira
Thiago Gomes Lisboa
Alamgir Khan
Raquel Maria Trindade Fernandes

RESUMO

As fontes energéticas existentes se dividem em renováveis e não-renováveis. Dentre esta classificação, tem-se uma gama de fontes de produção de energia. As fontes não renováveis são na sua maioria as principais poluidoras do meio ambiente. Em contrapartida, as energias renováveis são ilimitadas e se regeneram, não trazendo tanto danos impactantes ao meio ambiente. Dessa forma, este trabalho teve por objetivo identificar as principais fontes energéticas renováveis e não renováveis produzidas no Estado do Maranhão e os efeitos gerados ao meio ambiente. A presente pesquisa adotou uma metodologia exploratória com levantamento bibliográfico em base de dados. Portanto, sabendo-se que o Estado do Maranhão está localizado em uma região com grande potencial para geração de energias provenientes de fontes renováveis como a eólica e a solar, ainda são mínimas as produções por estes meios. O Estado tem grandes investimentos em usinas termelétricas que são resultados do uso de fontes não renováveis, que além de serem fontes com quantidades esgotáveis, trazem efeitos negativos ao meio ambiente. Entretanto, apesar da sensibilização para a geração de energia limpa, o Estado ainda tem grandes investimentos em energias não renováveis.

PALAVRAS-CHAVE: Fontes energéticas, Impactos ambientais, Energias renováveis, Energias não-renováveis, Maranhão.

INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos o homem usava energia para realizar as tarefas que garantiam sua sobrevivência. A dependência da energia continua até hoje, pois a mesma é essencial para realizar todas as atividades diárias, seja acender a luz, preparar refeições ou nos locomover a grandes distâncias. (SOUTO, 2022)

As fontes energéticas são classificadas segundo sua renovabilidade, ou seja, renováveis e não renováveis. As fontes de energia renováveis são recursos naturais considerados inesgotáveis e usados para gerar energia. Apresentam diversas vantagens em seus usos, pois

agredem minimamente ao meio ambiente, se comparadas às fontes convencionais de energia. As fontes de energia renováveis, por exemplo, são a luz do sol (energia solar), os ventos (energia eólica), a água (energia hídrica), as marés (energia maremotriz), as ondas do mar (energia ondomotriz), o calor da terra (energia geotérmica) e a biomassa como combustível. Em contrapartida, as fontes de energia não renováveis são aquelas que são geradas por recursos naturais que não se renovam, ou seja, são esgotáveis. Pode-se citar como fontes não renováveis de energia: os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural e xisto) e a energia nuclear.

As fontes energéticas não renováveis por não se renovarem, geram um maior efeito negativo ao meio ambiente causando impactos como poluição do solo, da água, liberam gases de efeito estufa e podem agravar a saúde da população local. Logo, atualmente busca-se descobrir fontes de energias que degradam o mínimo possível o meio ambiente.

No Maranhão foram descobertos novos blocos para exploração de gás natural; e trazem grandes perspectivas devido à sua nova fronteira de produção de energia através do gás natural. Portanto, o Estado inicia um ciclo novo e crescente de papel estratégico para a produção de energia no país.

Devido ao exposto, este trabalho tem por objetivo a apresentação das principais fontes de energia renováveis e não renováveis produzidas no Estado do Maranhão. Além disso, apresentar os impactos gerados ao meio ambiente com a utilização dessas fontes e perceber a importância de se investir em tecnologias sustentáveis para a geração de energia e para o consumo sustentável.

REFERENCIAL TEÓRICO

Energia

Aneel (2000) afirma que nas suas diversas formas, a energia é indispensável para a sobrevivência humana e, além disso, o homem sempre busca sua evolução descobrindo novas formas para adaptar-se ao ambiente que se está inserido além da busca para atender suas necessidades. Além disso, Birnfeld (2014) diz que compreender o significado de energia também é compreender as suas fontes energéticas, limitações, além das consequências do seu mau uso ao meio ambiente. Energia e meio ambiente estão intimamente interligados.

Classificação das Fontes de Energia

As fontes energéticas são classificadas em função de sua continuidade. Esta classificação está apresentada na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Classificação de fontes energéticas.

| Fontes | Energia primária | Energia secundária | |
|------------------------|---|---|--|
| Não-renováveis | Carvão mineral | Termoeletricidade, calor, combustível para transporte. | |
| | Petróleo e derivados | | |
| | Gás natural | | |
| | Nuclear | | Materiais físseis |
| Tradicionais | Biomassa primitiva: lenha de desmatamento | Calor | |
| Renováveis | Convencionais | Potenciais hidráulicos de médio e grande porte. | Hidroeletricidade |
| | | Potenciais hidráulicos de pequeno porte. | |
| | Novas | Biomassa “moderna”: lenha replantada, culturas energéticas (cana de açúcar, óleos vegetais) | Biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor. |
| | | Energia solar | Calor, eletricidade fotovoltaica. |
| | | | Geotermal |
| | | Outros | Eólica |
| Maremotriz e das ondas | | | |

Fonte: Goldemberg, 2006-2007.

Fontes não-renováveis

As fontes de energia não renováveis são consideradas fontes convencionais e limitadas. Além disso, a sua utilização é uma causa direta de graves danos para o meio ambiente.

Petróleo

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos e tem origem na decomposição da matéria orgânica, principalmente o plâncton, que é causada pela ação de bactérias em meios com baixo teor de oxigênio (ANEEL, 2002).

Carvão Mineral

O carvão é uma variada mistura de componentes orgânicos sólidos, onde estes são fossilizados ao longo de milhões de anos, assim como ocorre com todos os combustíveis fósseis. (ANEEL, 2002)

Gás Natural

De modo similar aos demais combustíveis fósseis, o gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, decorrentes da decomposição de matéria orgânica fossilizada ao longo de milhões de anos. Em seu estado bruto ou natural, o gás natural é composto principalmente por metano, com proporções variadas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e também CO₂, N₂, H₂S, água, ácido clorídrico, metanol e outras impurezas. (GASNET, 2000)

Energia Nuclear

É a energia liberada por uma reação denominada fissão nuclear – no reator nuclear, os núcleos dos átomos são bombardeados uns contra os outros, provocando o rompimento dos núcleos e a liberação de energia. Esse processo resulta em radiação e calor, que por sua vez transforma a água em vapor. A pressão resultante é usada para produzir eletricidade. (CONSUMO SUSTENTÁVEL, 2005).

Energia Hidráulica

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis – que envolvem tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório – são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados. (ANEEL, 2008)

Biomassa

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos. (ANEEL, 2008)

Outras Fontes

Estão abrigados o vento (energia eólica), sol (energia solar), mar, geotérmica (calor existente no interior da Terra), esgoto, lixo e dejetos animais, entre outros. Em comum, elas têm o fato de serem renováveis e, portanto, corretas do ponto de vista ambiental. (ANEEL, 2008)

Estado do Maranhão

O estado do Maranhão está situado na região nordeste do Brasil, sua capital é São Luís, ocupa uma área de 331.936,955 km², sua população total de acordo com o IBGE 2010 é de 6.574.789 habitantes e está dividido em 217 municípios.

Quanto a produção de energia, o Maranhão, que era dependente de energia, passou a ser um grande produtor deste importante serviço em 2009. O Estado produz energia proveniente da Usina Hidrelétrica de Estreito, da Usina Termelétrica Itaqui, da Usina Termelétrica Gera Maranhão. (IMIRANTE, 2014)

O estado também tem o maior potencial de energia eólica e maremotriz e é um dos grandes produtores de biomassa do Brasil. O que pode fazer do Maranhão um grande potencial em geração de energia limpa do país.

METODOLOGIA

Foram realizadas buscas sistemáticas acerca do tema, fazendo-se o uso das palavras-chaves. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados com base nas pesquisas a respeito do tema e uma análise da literatura. Posteriormente, para fundamentação teórico-metodológica, foram delimitados e escolhidos os artigos, revistas, livros e publicações trabalhadas, abordando um estudo quanto às fontes de energia renováveis e não renováveis, caracterizando os tipos produzidos especificamente no estado do Maranhão, bem como os prejuízos causados ao meio ambiente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fontes não-renováveis produzidas pelo estado do Maranhão

Termelétricas

A Usina Termelétrica utilizada no Maranhão é a Usina Termelétrica Itaqui e está localizada no distrito industrial de São Luís. Esta usina é movida a carvão mineral e começou a operar em 2012. A usina representa um grande investimento do estado. (ENEVA, 2013)

Quanto aos impactos ambientais, ela emite poluentes que trazem riscos imediatos à saúde da população que reside nas suas proximidades, pois os poluentes decorrentes da operação da UTE somam-se aos demais lançados no Distrito Industrial de São Luís, acarretando impactos cumulativos e sinérgicos, cuja repercussão extrapola a área do empreendimento e seu entorno imediato.

A empresa UTE Gera Maranhão é uma das 50 térmicas no país que foram acionadas pelo Operador do Sistema Nacional do Sistema Elétrico. É uma geradora de energia termelétrica e está localizada no município de Miranda do Norte. Além disso, faz parte do plano de contingência da matriz energética brasileira. Esta usina só é utilizada para gerar energia na eventualidade de qualquer escassez. Possui duas plantas gêmeas, Geramar I e Geramar II, que utilizam óleo combustível para produzir energia suficiente para abastecer capital do estado.

O gás natural que abastece as usinas do Complexo Parnaíba é produzido pelos poços produtores da Bacia do Parnaíba.

O Complexo Termelétrico Parnaíba, está localizado no município de Santo Antônio dos Lopes. Este, é composto por quatro usinas termelétricas a gás natural, sendo que duas delas já estão em operação: Parnaíba I e Parnaíba III. A incorporação dessa capacidade de produção de energia elétrica ao sistema contribui significativamente para a ampliação da oferta ao estado do Maranhão e a todo o Sistema Interligado Nacional. Vale ressaltar que esta permite a complementariedade de produção nos períodos em que os reservatórios das hidrelétricas estiverem baixos. (PORTAL BRASIL, 2014).

Fontes Renováveis produzidas pelo estado do Maranhão

Energia solar

O Maranhão está localizado em uma das regiões com maior incidência de raios solares do país, devido a isso é um potencial para a instalação de parques para produção de energia solar. Portanto, o estado já tem empresas privadas que fazem projetos de instalações de sistemas fotovoltaicos para abastecer residências e empresas.

O município da Raposa e São José de Ribamar, conta com uma Unidade de Referência Produtiva (URP) de Hortifruti do Agropolo da Ilha, Projeto Piloto de Sistema Captação de Energia Solar para Irrigação de Agriculturas. Esse projeto piloto tem para a sua execução, a parceria da SAGRIMA, que indicou os locais para sua implantação: as URPs de “Trata-se de Projetos Pilotos de geração de energia solar para atender agriculturas de irrigação de pequenos

produtores no Agropolo da Ilha. O Projeto visa atender a um compromisso do estado em reduzir a dependência no fornecimento de energia elétrica da concessionária e produzir energia nova, limpa e sustentável.

Energia eólica

O Maranhão apresenta potencial energético eólico devido à sua localização. Esta região apresenta um maior índice de ventos do país.

A empresa Ômega Energia tem uma instalação de um parque eólico na região de Paulino Neves e Barreirinhas, o que contribuirá para a ampliação desse segmento de geração. Esse tipo de energia traz benefícios em cadeia à comunidade que habita no entorno. (SEME, 2016)

O desenvolvimento de mais uma vocação regional fortalece o Maranhão e abre novos horizontes de evolução econômica para a região dos Lençóis Maranhenses, como também colocando no contexto geográfico de matrizes energéticas renováveis. (SEME, 2016)

A implantação do parque eólico é de grande relevância para o Estado, visto que é uma energia proveniente de uma tecnologia totalmente limpa e não agressiva ao meio ambiente, além de trazer ganho socioeconômico ao Estado.

Biomassa

Sabemos que a biomassa é uma fonte de energia limpa e renovável disponível em grande abundância e derivada de materiais orgânicos. No Maranhão encontra-se diversos tipos desses materiais em abundância, como: restos da produção industrial; combustão de material orgânico, como celulose, sobras florestais, serragem, além das atividades agrícolas que produzem as fibras de coco e cascas de arroz.

Além disso, o Estado conta com a Itapecuru Bioenergia que é uma agroindústria do seguimento bioenergético que está localizada na Cidade de Aldeias Altas e suas atividades deram início em 2006. A matéria prima utilizada por essa agroindústria é a cana-de-açúcar, produzida em canaviais totalmente irrigados em sistemas de aspersão, utilizando os recursos próprios da companhia. O etanol hidratado produzido é utilizado em carros movidos a etanol e o etanol anidro é misturado à gasolina como aditivo. Ademais, a energia elétrica é produzida através do bagaço da cana que é o resíduo do processo de fabricação do etanol. Além disso, a energia elétrica produzida que é proporcionada por sua queima, alimenta a usina. Este processo se faz limpo e evita a utilização de combustíveis fósseis. (ITAPECURU BIOENERGIA, 2006)

Hidrelétricas

O Estado conta com o Consórcio Estreito Energia (CESTE), formado pelas empresas GDF Suez-Tractebel Energia, Vale, Alcoa e Intercement, e está localizada no Rio Tocantins, entre a divisa dos Estados do Maranhão e Tocantins.

A missão de gerar energia limpa, é realizada pelo CESTE sob o compromisso da responsabilidade socioambiental, promovendo a implantação de ações que visam o desenvolvimento sustentável dos 12 municípios da área de abrangência do empreendimento, sendo eles: Carolina e Estreito localizados no estado do Maranhão e Aguiarnópolis, Babaçulândia, Barra do Ouro, Darcinópolis, Filadélfia, Goiatins, Itapiratins, Palmeirante, Palmeiras do Tocantins e Tupiratins localizados no estado do Tocantins. (CESTE, 2012)

O aproveitamento hidrelétrico de Estreito provocou grave e irreversível dano ambiental ao município de Carolina em função da nova conjuntura fundiária promovida pela usina. Este, colocou a população vulnerável, pois a região já se encontra sob influência de outros grandes empreendimentos, além de provocar conflitos e aumento da demanda frente aos diferentes usos do solo e da água neste trecho do rio Tocantins (PEREIRA, 2015).

Impactos Ambientais causados pelos Tipos de Produção de Energia

As Energias não renováveis geram sérios danos socioeconômicos e ambientais, visto que podem contribuir para o crescimento do buraco da camada de ozônio e causar a destruição de ecossistemas, além de contribuir para o efeito estufa, chuva ácida, entre outros. Além disso, acidentes com fontes de energia não renováveis provocaram enormes desastres pelo mundo.

O efeito estufa é um grave problema ambiental e é consequência do sistema energético que prioriza o uso de energias não renováveis. Fazendo-se o uso desse tipo de fonte energética, haverá a produção de grandes quantidades de vapor d'água e CO₂ (dióxido de carbono) - gás que mais contribui para o efeito estufa. Outros gases como os óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre e os hidrocarbonetos também são liberados na produção de energia que elevam o nível de poluição das cidades. Estes também contribuem para a formação de chuvas ácidas e aumentam a concentração de ozônio na troposfera. (AGENEAL, 2013)

O impacto gerado ao meio ambiente pelo uso do petróleo dá início já na sua extração, quando há a possibilidade de derramamento deste no local. Durante seu transporte, os riscos vêm da falta de confiabilidade dos meios de transporte e do uso de infraestrutura obsoleta. Na refinação, existe o perigo da contaminação através dos resíduos; e, por fim, no seu uso direto através da combustão, há a emissão de gases poluentes na atmosfera. (ANEEL, 2008).

O gás natural, em sua combustão, origina apenas dois gases poluentes: o dióxido de carbono e uma quantidade de óxido de nitrogênio em quantidades muito inferiores às liberadas através da combustão do petróleo ou carvão mineral. Apesar de considerado mais limpo que os outros combustíveis fósseis, o aproveitamento do gás natural gera indesejáveis impactos ao meio ambiente, principalmente na geração de energia elétrica. A maior agressão ocorre devido ao seu sistema de resfriamento, que consome cerca de 90 % da água utilizada em uma central termelétrica a gás natural, ou seja, o volume de água captada é bastante elevado e pode gerar escassez de recursos hídricos na região da central (ANEEL, 2008).

Outra fonte energética entre os combustíveis fósseis é o carvão mineral. Este é o que gera maiores quantidades de gases de efeito estufa, além de impactar a mineração que afeta o solo, os recursos hídricos e o relevo da região. (AGENEAL, 2013)

As energias renováveis vêm sendo impulsionadas pela necessidade que as nações estão sentindo de promover ações que possam resultar na mitigação dos impactos ambientais.

Os impactos provocados pela construção de hidrelétricas, como interferência na fauna e flora, perda de solos agricultáveis, aumento do nível de rios ou alteração de seu curso devido ao represamento, e conseqüente inundação de áreas, são o principal argumento contra sua construção. Muitas vezes é necessária a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres para a construção das usinas, já que na maioria dos casos as áreas possuem grande diversidade biológica. As alterações no regime das águas devido aos reservatórios de acumulação, faz com que certas espécies sejam favorecidas, prejudicando ou até mesmo extinguindo outras. Além disso, há o perigo de rompimento de barragens, podendo ocasionar problemas de grandes dimensões. Isso tudo faz com que seja necessária a realização de estudos geológicos, hidrológicos e socioambientais prévios para a implantação de empreendimentos hidrelétricos, já que estes podem ser evitados ou minimizados devido a medidas preventivas.

A utilização da biomassa tradicionalmente é associada ao desmatamento. Pois mesmo que em menor quantidade, há a emissão de gás carbônico; baixa eficiência termodinâmica das plantas e custos relativamente altos de produção e transporte. (BARQUETE; SILVA, 2013)

O fator de interferência no aproveitamento de energia solar, é a baixa eficiência dos sistemas de conversão, devido à necessidade de grandes áreas para a captação de energia, afim de que se torne um empreendimento viável. Além disso, há o problema da inutilidade do sistema após sua vida útil de 30 anos de geração. Normalmente parte é reciclada e o restante é descartado em algum aterro sanitário. (ANEEL, 2008)

A problemática dos parques eólicos é devido a sua localização em rotas de migração de aves, visto que algumas espécies podem sofrer prejuízos. Entretanto, pode-se realizar um planejamento levando-se em conta aspectos de conservação da natureza: evitar a instalação de parques eólicos em áreas importantes de habitat; evitar áreas de corredor de migração; adotar arranjo adequado das turbinas no parque eólico; usar torres de tipos apropriados (tubulares); e utilizar sistemas de transmissão subterrâneos. Outra problemática são os ruídos. Estes, além de causar perturbação aos habitantes da região, pode também prejudicar a fauna local, como por exemplo, a sua interferência no processo reprodutivo das tartarugas. O impacto sobre o solo acontece somente na área da base em que a turbina foi instalada, e os riscos de contaminação do lençol freático são minimizados por não se utilizarem combustíveis fósseis, fazendo com que o risco de contaminação do solo por resíduos líquidos seja quase nulo. (BARQUETE; SILVA, 2013)

Ao se instalar uma usina maremotriz, pode-se interferir drasticamente nas características do local, já que a construção das barragens ocasiona alteração nos níveis das marés. Os equipamentos podem causar mudanças na qualidade da água, e na cadeia alimentar das espécies da região, como na vida de aves e peixes, por exemplo. (ANEEL, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com os impactos ambientais vem ganhando relevância no planejamento energético dos países, onde existem vários meios de produção de energia por fontes renováveis e não renováveis. Entretanto, as bases energéticas dos países eram resultantes das suas condições econômicas, disponibilidade de recursos naturais e viabilidade de exploração. No Brasil, por exemplo, a abundância de recursos hídricos foi fundamental para a formação de um sistema predominantemente hidráulico. Porém no Estado do Maranhão, este meio não é tão favorecido, contando com uma usina.

O Maranhão apesar de estar situado em uma região com grande potencial para geração de energias provenientes de fontes renováveis como, por exemplo, a eólica e a solar, ainda não fazem o uso dessas fontes energéticas como as principais do Estado, visto que são mínimas as produções por estes meios. O Estado conta com grandes investimentos em usinas termelétricas que são resultados do uso de fontes não renováveis, que além de serem fontes com quantidades esgotáveis trazem prejuízos ao meio ambiente. Portanto, apesar da sensibilização com os impactos ambientais e a busca para a geração de energia limpa, no Estado prevalece o uso por fontes de energias não renováveis.

REFERÊNCIAS:

AGENEAL. Energias não renováveis. Agência Municipal de Energia de Almada. Disponível em: <http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=7>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica.** – Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica.** 3. ed. – Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_capa_sumario.pdf. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

BARQUETE, Ana Cláudia Carvalho. SILVA, Natália Passone da. **O Avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis.** Monografia. Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação. Universidade de São Paulo, São Carlos -SP, 2013.

BIRNFELD, Aline. **ESTUDO SOBRE AS OPÇÕES TECNOLÓGICAS EM ENERGIA RENOVÁVEL PARA APLICAÇÃO NA REGIÃO OESTE DE SANTA CATARINA.** 2014. 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Mba em Gestão Estratégica de Negócios, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira, 2014. Disponível em: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/Monografia-Aline-Birnfeld.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.

CESTE. Consórcio Estreito Energia. Usina Hidrelétrica Estreito. Disponível em: http://www.uhe-estreiro.com.br/ver_secao.php?session_id=70. Acesso em: 18 de fevereiro de 2022.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: **Manual de educação.** Brasília: Consumers International/MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160p.

ENEVA. UTE Itaqui, da MPX, inicia operação comercial. Disponível em: <http://www.eneva.com.br/pt/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/UTE-Itaqui,-da-MPX,-inicia-operacao-comercial.aspx>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

GASNET. **Composição do Gás.** Disponível em: <https://www.gasnet.com.br/GasNatural/OGasCompleto#gas11>. Acesso em: 17 fev. 2022.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energias Renováveis: um futuro sustentável.** 72. ed. São Paulo: Revista Usp, 2006-2007. 15 p.

IMIRANTE. **Maranhão se consolida entre os Estados produtores de energia.** O Estado. Disponível em: <http://imirante.com/maranhao/noticias/2014/10/26/maranhao-esta-no-grupo-de-produtores-de-energia.shtml>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

ITAPECURU BIOENERGIA. TG Agro Industrial Ltda. Disponível em: <http://www.itapecurubioenergia.com.br/produtos/> acesso 18 de fevereiro de 2022.

PEREIRA, Jaciene. **O atual modelo energético e a gestão ambiental no Brasil: uma análise a partir do caso da UHE-Estreito e os impactos socioespaciais em Carolina.** 174 f. Mestrado

de Desenvolvimento Socioespacial e Regional. Universidade Estadual do Maranhão, São Luis - MA, 2015

PORTAL BRASIL. Complexo termelétrico é inaugurado no Maranhão. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2013/11/complexo-termeletrico-e-inaugurado-no-maranhao>. Acesso em 18 de fevereiro de 2022.

SEME. Primeiro parque eólico do Maranhão trará desenvolvimento econômico e social ao estado. Disponível em: <http://www.ma.gov.br/primeiro-parque-eolico-do-maranhao-trara-desenvolvimento-economico-e-social-ao-estado/>.

SOUTO, Ana Lucia. Evolução do uso da energia ao longo da história. BNCC.Ciências; EF07CI05.

CAPÍTULO 11

ANÁLISE DE POSSÍVEIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA COMPLEMENTAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR BRASILEIRA E SEUS PROCESSOS

Agatha Harumi Alves da Costa
Bruno Ken Iti Oki
Rafael Ramos de Andrade

RESUMO

A busca por novas fontes energéticas data desde o advento da revolução industrial. A escassez dos recursos fósseis e seus impactos negativos no meio ambiente e na saúde pública são motivadores para o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias em fontes renováveis. No Brasil, os biocombustíveis mais utilizados são o etanol de cana-de-açúcar e o biodiesel, sendo o país o segundo maior produtor de etanol no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos, o qual produz etanol a partir do milho. O etanol de cana-de-açúcar possui inúmeras vantagens produtivas e energéticas em relação ao etanol de outras fontes vegetais. A grande extensão territorial e a posição geográfica do Brasil tornam este país um grande potencial agrícola, gerando oportunidades de estudos de viabilidade e exploração de diferentes matérias-primas, além da cana, para a produção de etanol. Essas oportunidades estão associadas à sazonalidade da produção de cana, diversidade produtiva, necessidade de rotação de culturas, e a grande geração de resíduos de biomassa no país. Este trabalho apresenta uma revisão na qual são analisadas diferentes culturas utilizadas para produção de etanol, além de resíduos da indústria agrícola brasileira, como possíveis matérias-primas para a complementação da produção de etanol no Brasil. O sorgo sacarino, a mandioca e a batata-doce destacam-se como insumos, porém alguns entraves específicos de cada cultivo ainda devem ser resolvidos para sua efetiva implantação. Destaques também para a grande quantidade de resíduos de milho e soja.

PALAVRAS-CHAVE: etanol, matérias-primas, cana-de-açúcar, biocombustíveis, resíduos.

INTRODUÇÃO

Um fator que impulsiona a busca por energias renováveis alternativas é a independência energética dos países com relação aos países exportadores de petróleo, de forma que, apesar das ações voltadas a este setor terem sido historicamente ligadas a países “pobres” ou em desenvolvimento, a maioria dos países, desenvolvidos ou não, tiveram uma mudança de comportamento em relação ao uso de derivados do petróleo (CORTEZ *et al.*, 2008).

O impacto ambiental e a escassez dos recursos fósseis foram amplamente ignorados até meados da década de 70, mas atualmente, avalia-se que desde o fim do século XIX, a concentração de CO₂ na atmosfera subiu de 200 ppm para 385 ppm, o que evidencia a necessidade crescente do desenvolvimento tecnológico voltado às fontes energéticas renováveis

(ARREDONDO, 2009; GUEDES *et al.*, 2021).

Um estudo realizado pela Embrapa Agrobiologia constatou que o etanol de cana gera emissão de 73% menos CO₂ frente à gasolina. Neste estudo foi analisado o ciclo de vida do etanol desde sua produção até a queima do combustível em veículos. Com a eliminação das queimadas para a colheita da cana, essa redução subiu para 82% (NASCIMENTO, 2009). O etanol de cana reduz as emissões dos veículos e a Agência Internacional de Energia estima uma redução que ultrapassa os 80%, em comparação com a gasolina (EXAME, 2016; BRANCO *et al.*, 2020).

A biomassa como fonte alternativa energética, em geral apresenta tecnologias já bem estabelecidas a serem empregadas comercialmente. Ela abrange a utilização de diversos resíduos sólidos urbanos como os resíduos agrícolas, animais, industriais e florestais para a produção energética (CORTEZ *et al.*, 2008; GUEDES *et al.*, 2021). Essa apresenta inúmeros benefícios tanto ambientais quanto sociais com relação aos combustíveis fósseis e é tida como flexível pelas variadas possibilidades de aplicações, podendo ser queimada diretamente para produção de eletricidade ou calor, ou ainda convertida em combustíveis, como o etanol (CALLÉ *et al.*, 2005). É importante ressaltar que ainda existem gargalos tecnológicos a serem superados para tornar a conversão de resíduos sólidos em biocombustíveis, economicamente viável (ANDRADE, 2012).

Na busca pela disponibilidade de biomassa em uma região ou país, consideram-se restrições ecológicas, econômicas e tecnológicas. As ecológicas referem-se a conceitos associados à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida. As econômicas levam em consideração o uso mais eficiente dos recursos, priorizando, por exemplo, os usos alimentícios e industriais. O custo-benefício da biomassa explorada em relação aos outros combustíveis também é importante. Por fim, restrições de ordem tecnológica se baseiam na existência ou não de processos confiáveis e em operações utilizadas na conversão da biomassa em combustível (CORTEZ *et al.*, 2008). Levando em conta o número de possibilidades e restrições, a escolha de potenciais matérias-primas que sejam adequadas para a produção de um biocombustível, de forma mais sustentável é uma tarefa bastante complexa.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo estudar e catalogar possíveis matérias-primas para a complementação da produção de etanol por cana-de-açúcar no Brasil, bem como seus processos produtivos, e analisar criticamente a aplicação das mesmas.

MÉTODOS

Consultas bibliográficas em sites como Capes, *Science Direct* e *Google Scholar*. Primordialmente foram selecionadas publicações mais recentes datadas a partir de 2012, porém publicações anteriores a este ano também foram utilizadas. O uso de teses, artigos, livros, enciclopédias, publicações em revistas e *sites*, notícias em revistas ou *sites* fazem parte dessa revisão. Vale ressaltar que dados obtidos de Instituições Públicas, tais como: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), foram amplamente utilizados e a confiabilidade em autores e organizações foram levados em consideração. O uso de palavras-chaves tanto em inglês quanto português, e ocasionalmente em espanhol auxiliaram na catalogação das bibliografias tanto nos termos mais gerais como, por exemplo: etapas de processamento do etanol, histórico do etanol, etanol no Brasil e no mundo; assim como nos termos mais específicos como: etanol de mandioca, etanol de sorgo, etanol de milho. Como critérios de exclusão estão a não adequação ao tema, repetições de outra publicação, publicações incompletas e títulos não condizentes com o conteúdo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Brasil, o etanol obtido da cana-de-açúcar e o biodiesel produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais são dois dos principais biocombustíveis líquidos produzidos e comercializados. O etanol brasileiro (de primeira geração, obtido a partir da fração solúvel da cana-de-açúcar) possui produção economicamente competitiva, além de apresentar uma excelente opção de produção sustentável em larga escala mundial (AGROENERGIA, 2013). De acordo com projeções realizadas pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2015), a demanda por etanol no Brasil deve chegar a 39 milhões de litros até o final de 2024.

Na Tabela 1 é apresentada a relação entre energia renovável produzida, em relação à energia fóssil consumida no processo de produção de etanol, para diferentes matérias-primas. Observa-se que o etanol a partir de cana-de-açúcar (de primeira geração) é o que apresenta melhor relação entre energia renovável (produzida) e consumida a partir dos fósseis, e maior porcentagem de emissões evitadas, seguido do uso de lignocelulósicos, demonstrando seu potencial. Além da vantagem energética indiscutível do etanol de cana, o Brasil possui a vantagem do potencial agrícola, devido a sua grande extensão territorial, e posição geográfica,

que faz com que grande parte das suas terras sejam potencialmente produtivas para cana. Apesar disso, a sazonalidade da produção de cana, diversidade produtiva, necessidade de rotação de culturas e a grande geração de resíduos de biomassa do país dão oportunidade a estudos de viabilidade de outras matérias-primas para a produção de etanol.

Tabela 1: Balanço de energia na produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.

| Matérias-primas | Energia renovável/energia fóssil | Emissões evitadas (%) | Referências |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Etanol de milho (EUA) | 1,4 | 0-38 | (MACEDO, 2007; BNDES; CGEE, 2008). |
| Etanol de beterraba (Europa) | 2 | 35-56 | |
| Etanol de cana (Brasil) | 9,3 | 89 | (BNDES; CGEE, 2008). |
| Etanol de sorgo sacarino (África) | 4 | - | (MACEDO, 2007) |
| Etanol de trigo (Europa) | 2 | 19-47 | (MACEDO, 2007; BNDES; CGEE, 2008). |
| Etanol de mandioca | 1 | 63 | |
| Resíduos lignocelulósicos | 8,4 | 66-73 | |

Fonte: Autores.

As matérias-primas para produção de etanol pela via fermentativa podem ser divididas em três categorias: materiais açucarados, amiláceos e lignocelulósicos (CORTEZ *et al.*, 2008). O processo produtivo a partir destas matérias primas se divide em quatro etapas: preparo, obtenção do substrato, fermentação e destilação, sendo as duas primeiras etapas diferentes para cada matéria-prima e as duas últimas praticamente iguais (MACEDO, 1993).

Materiais Açucarados

Dentre os materiais açucarados existem os diretamente fermentescíveis, ricos em monossacarídeos, como é o caso das frutas, no qual não é necessária nenhuma transformação para que o microrganismo atue na conversão dos açúcares como a glicose e frutose em etanol. Estes geralmente são utilizados na produção de álcool em bebidas. Já os indiretamente fermentescíveis, ou não-diretamente fermentescíveis, ricos em dissacarídeos, precisam de uma etapa de hidrólise antes da fermentação para quebrar moléculas grandes em forma bruta como a sacarose, maltose, lactose e rafinose em moléculas menores. Esta hidrólise geralmente ocorre pela ação da enzima invertase, produzida pelo próprio agente de fermentação. No Brasil, as matérias-primas açucaradas mistas são as mais utilizadas na produção do etanol, sendo a cana-de-açúcar e o melaço as mais importantes, possuindo açúcares direta e indiretamente fermentescíveis com teores maiores de sacarose e menores de glicose e frutose (SANTOS *et al.*, 2012).

Materiais Amiláceos

Os materiais amiláceos, como os obtidos a partir de grãos e raízes, contêm carboidratos mais complexos, como amido e inulina, que precisam ser quebrados em glicose por meio de hidrólise ácida ou processos que envolvem enzimas. Todos os materiais amiláceos precisam passar pelo processo de cozimento para diluição e gelatinização do amido antes dos processos de hidrólise. Exemplos de materiais amiláceos são grãos como milho, cevada e trigo e raízes e tubérculos como batata, batata-doce e mandioca (MACHADO; ABREU, 2006).

Na etapa de cozimento, a matéria-prima é cozida para dissolver os amidos solúveis em água. Industrialmente, este processo é feito com vapor, em processo contínuo e sob pressão. Para processos em escala menor, é possível realizar o cozimento a temperatura ambiente, durante 30 a 60 minutos, pois os grãos levam mais tempo para gelatinizar do que as raízes e tubérculos. A hidrólise ácida tem como vantagem o baixo tempo de sacarificação. Porém, quando utilizada para materiais amiláceos provoca destruição de alguns açúcares, gera açúcares não-fermentescíveis e a solução açucarada resultante deste processo precisa passar por uma etapa de neutralização após a hidrólise (MACHADO; ABREU, 2006).

O processo de maltagem é utilizado, pois durante a germinação do malte ocorre a ação das enzimas amilases, que convertem o amido em maltose, que é fermentescível. Como todo cereal em grão produz amilases, pode-se utilizar o malte do próprio substrato a ser fermentado, como no caso da cevada, resultando em um processo mais econômico. Industrialmente, utiliza-se também o farelo enzimático, proveniente do cultivo de microrganismos que produzem enzimas transformadoras de amido em glicose. Este farelo, além de ser facilmente produzido, apresenta alto rendimento quando comparado ao malte. Já para sistemas em pequena escala, uma alternativa é o uso de enzimas industriais. Estes extratos enzimáticos são geralmente mais baratos do que os maltes e têm alto rendimento por serem produzidos para este fim. As três enzimas mais disponíveis comercialmente são α e β -amilase, e glucoamilase. As duas primeiras são responsáveis por converter aproximadamente 85% do amido e a terceira o restante, de forma que o uso das três enzimas resulta em uma conversão quase total do amido (MACHADO; ABREU, 2006).

Materiais Lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos são resíduos agrícolas e florestais compostos de lignina, celulose e hemicelulose, que devem ser convertidos em açúcares diretamente fermentescíveis por um processo mais complexo de hidrólise ácida ou utilização de enzimas (KIRK; OTHMER,

2005). A celulose é composta por longas cadeias de glicose, e a hemicelulose possui, além da glicose, pentoses, que são fermentescíveis. A lignina não possui açúcares e tem como função a sustentação da planta. Para a utilização dos materiais lignocelulósicos como matéria-prima na hidrólise e posterior fermentação, são necessários pré-tratamentos para a quebra, ou solubilização da estrutura da lignina. As principais vantagens desses resíduos para produção de etanol são a grande disponibilidade e baixo custo, além de questões ambientais (MACHADO; ABREU, 2006).

A cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum L.*, é uma planta de cultura sazonal de origem asiática e pode ser cultivada em países tropicais e subtropicais, onde haja boa disponibilidade de luz e água (NOVACANA, 2015a). É a cultura mais utilizada para produção de etanol no Brasil. A lavoura de cana permite de três a seis colheitas consecutivas após o plantio, as colheitas dependerão de fatores como clima, variedades e manejos de solo e água. Fechando-se o ciclo de cana plantada depois dos cortes até a última colheita, o produtor tem a opção de renovar imediatamente o seu plantio ou proceder com a rotação com outras culturas (BOLONHEZI; PEREIRA, 1999), o que permite que a área seja utilizada para produção de alimentos, ou biocombustível a partir de outras matérias-primas. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo e o primeiro a produzir açúcar e etanol a partir desta matéria-prima (NOVACANA, 2015a, b; FILIPPIN, 2021)

Bolonhezi e Pereira (1999) citam algumas vantagens do cultivo de espécies de ciclo curto em áreas de renovação da cana como: economia na reforma do canavial, controle de plantas daninhas, combate indireto a pragas, aumento de produtividade e produção de alimentos e conservação do solo (manutenção de cobertura em épocas de grandes precipitações).

A sacarose é o principal constituinte da cana-de-açúcar e corresponde a 12-17% da planta (SOUZA *et al.*, 1995). O açúcar fica armazenado em seus colmos (tipo de caule encontrado em gramíneas) e a eficiência de extração é de 95% (MACHADO; ABREU, 2006).

Dados relativos às matérias-primas

Diferentes matérias-primas podem ser usadas para a produção do combustível. Na Tabela 2 são apresentadas as potencialidades de algumas matérias-primas açucaradas e amiláceas, medidas em carboidratos e etanol. Culturas como inhame e mandioca possuem alta potencialidade depois da cana-de-açúcar, mas estas são destinadas primordialmente ao consumo humano. O inhame também apresenta elevada produtividade agrícola, aproximadamente o dobro da mandioca, porém três vezes menor que a produtividade da cana.

Como grande parte destes produtos agrícolas possuem fins mais nobres (que para produção de etanol), como a indústria alimentícia, faz-se necessária também a análise dos resíduos da indústria agropecuária.

Tabela 2: Potencialidade de algumas matérias-primas açucaradas e amiláceas.

| Matéria-prima | Carboidratos totais (%) | Produtividade agrícola (t/ha) | Produtividade em carboidrato (t/ha) | Potencialidade em etanol (m ³ /ha) |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|
| Araruta | 28,9 | 12 | 3,5 | 2,5 |
| Batata | 12 | 20 | 2,4 | 1,6 |
| Batata-doce | 26,1 | 17 | 4,4 | 3,2 |
| Beterraba | 15 | 15 | 2,2 | 1,6 |
| Cana-de-açúcar | 12-17 | 77 | 9,2-13 | 6,0-9,0 |
| Inhame | 26,8 | 25 | 6,7 | 4,8 |
| Mandioca | 34 | 13,5 | 6,8 | 4,9 |
| Milho | 66 | 3,5 | 2,3 | 1,6 |
| Sorgo | 67 | 2,3 | 1,6 | 1,1 |
| Trigo | 65 | 2,3 | 1,5 | 1,1 |

Fonte: Machado e Abreu (2006).

Os resíduos de cana são usualmente utilizados para produção de energia pela queima do bagaço em caldeiras. Já, os de soja, milho, arroz e trigo, além de usos na geração de energia, possuem usos alternativos como adubação, cobertura de solo e nutrição animal. Os resíduos das culturas de feijão, café, coco, cacau e castanha-de-caju são economicamente mais vantajosos para a produção de fertilizantes. Os de banana (folhas e engaço) podem ser utilizados na produção artesanal e na produção de polpa celulósica e papel. Os de laranja entram como complemento de ração animal, e os de uva (cascas, sementes) na produção de alimentos (p. ex.: pães e barras de cereais) e alimentação animal (IPEA, 2012).

Frutas

As frutas fazem parte dos materiais açucarados potenciais para produção de etanol pela grande quantidade de açúcares simples (alguns de difícil metabolização) disponíveis em sua composição. A fermentação alcoólica de frutas data de milhares de anos por se tratar de um processo natural, pois microrganismos habitam naturalmente as mesmas. Esta fermentação ocorre de forma industrial para produção de bebidas, por se tratar de um fim mais nobre, no entanto, como há uma grande geração de resíduos de algumas frutas no Brasil, especialmente banana e uva, sendo que estas poderiam ser utilizadas para a produção de etanol combustível. Para o preparo do substrato, devido à baixa percentagem de açúcares presente nas frutas, não é necessária diluição, de forma que é feita apenas a extração do suco, e ajuste de pH.

O cultivo de banana se dá em regiões quentes do mundo todo e sua produção ocorre o ano inteiro. Segundo a Embrapa, o Brasil é o segundo maior produtor da fruta no mundo, sendo

os estados do Nordeste e do Sudeste os maiores produtores e São Paulo o maior estado produtor. Por se tratar de uma fruta majoritariamente consumida *in natura*, os resíduos da produção incluem todo o cacho. A fruta possui uma concentração de açúcar média de 13,8%, o que significa que, caso houvesse uma extração com 75% de eficiência, por exemplo, teria 10% de material fermentescível, o que equivale a 62 litros de etanol produzidos para cada tonelada de banana. A uva no Brasil é plantada principalmente no Rio Grande do Sul, com 66% da produção nacional, e em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). Calcula-se que 45% da produção nacional seja destinada à indústria de sucos, vinhos e derivados e que 40% da uva processada é transformada em resíduo. A fruta possui uma concentração média de açúcar de 15% (MACHADO; ABREU, 2006; IPEA, 2012).

Beterraba açucareira

A beterraba possui variedades que são destinadas à alimentação humana (beterraba vermelha), alimentação animal (beterraba forrageira) e produção de açúcar e etanol (beterraba açucareira). A beterraba açucareira ou sacarina (*Beta vulgaris L.*) é uma cultura importante na América do Norte, Ásia e Europa. Com raízes pivotantes e quase totalmente enterradas, a cultura de beterraba açucareira requer solo com pH próximo de 7 com elevada capacidade de retenção de água e boa aeração. O clima ideal para uma elevada porcentagem de açúcar na planta é o temperado, ensolarado e úmido (CARDONA *et al.*, 2009; INFOAGRO, 2012a).

A raiz é onde ocorre a maior concentração de açúcar. O teor de açúcar pode variar de 12% a 20% (PUNDA, 2009). Possui a sacarose como seu componente mais importante com teor variando de acordo com as condições do solo, clima, variedades, cultivos e graus de maturação (SOUZA *et al.*, 1995). Além da sacarose, a beterraba possui também pequeno teor de amido, de forma que a extração do suco é feita por prensagem. A adição de uma pequena quantidade de malte (1 a 2% em peso) leva a um aumento significativo no rendimento do processo. É necessário também o ajuste de pH (MACHADO; ABREU, 2006).

Com alto rendimento de etanol por acre, a beterraba açucareira tem produção na França de 7.000 litros/hectare (750 galões/acre). Comparativamente, a cana-de-açúcar no Brasil produz 5.500 litros/hectare (590 galões/acre) e milho nos Estados Unidos produz 3.000 litros de etanol por hectare (320 galões/acre) (NERSESIAN, 2015).

Sorgo sacarino

O sorgo sacarino é considerado como uma das matérias-primas alternativas promissoras na obtenção do etanol, apesar da produção ainda pouco significativa para esse propósito a nível

mundial (GANDUGLIA *et al.*, 2009). Nativo da África, o sorgo se caracteriza por ser uma espécie bem adaptada a ambientes extremos, resistente a ambientes secos, altas temperaturas e ventos fortes. Assemelha-se à cana-de-açúcar no armazenamento do açúcar em seus colmos e no bagaço oferecido para a indústria. Diferencia-se da cana pelo cultivo a partir de sementes e por um ciclo curto (120 a 130 dias) (DURÃES, 2011).

A versatilidade do sorgo que por meio de melhoramentos genéticos diversificou suas aplicabilidades faz dessa cultura um tipo especial capaz de atender diversos mercados, interesses e necessidades em todo mundo. Com relação à produção de álcool, o sorgo sacarino é a planta mais adaptada, principalmente no verão, ao setor sucroalcooleiro (MAY; DURAES, 2012). Entre janeiro e abril, período de entressafra da cana, o sorgo sacarino pode complementar a produção de etanol (EMBRAPA, 2014).

O sorgo sacarino é rico em açúcares fermentescíveis e apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana e pode servir para a produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar. O sorgo sacarino tem como principais constituintes os açúcares glicose, frutose e sacarose, além de conter maior quantidade de açúcares redutores que o caldo de cana, segundo estudos. Porém não é verificada diferença significativa quanto à quantidade total dos açúcares solúveis, podendo assim utilizar-se dos mesmos métodos e parâmetros de controle de qualidade utilizados na cana (DURÃES, 2011).

Milho

De origem indígena, cultivado em regiões da América Central e México, o milho é uma cultura antiga de aproximadamente 7000 anos e pertence à família das gramíneas. Hoje, está disseminado em todo o mundo, destacando-se como produtores a Europa e os Estados Unidos que possui altas concentrações de seu cultivo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial (GARCIA *et al.*, 2021).

Muito utilizado para o consumo humano, os grãos de milho são processados por diversas formas na indústria, sendo utilizados também como forragem para alimentação animal. O milho se desenvolve bem em diversos tipos de solos (menos nos muito arenosos ou muito argilosos) e em períodos de temperaturas médias diárias acima de 15°C, englobando de climas temperados a tropicais. Apresenta necessidade de bastante incidência de luz solar, é sensível a geadas e à salinidade e a demanda por fertilidade é relativamente alta (GANDUGLIA *et al.*, 2009).

Trigo

Depois do milho, o trigo (*Triticum* spp.) é o grão mais empregado na obtenção do etanol. Devido ao seu alto conteúdo amiláceo, o trigo é destinado a este fim na Europa e na América do Norte, destacando-se países como França, China, Índia, Estados Unidos e Federação Russa. À exceção da beterraba açucareira, o trigo é a principal matéria-prima para a produção de etanol na França, quinta colocada na produção mundial de trigo em 2007 com 33,21 milhões de toneladas (CARDONA *et al.*, 2009).

Com um cultivo disseminado em todas as direções, o trigo cultivado atualmente tem provável origem na região asiática localizada entre os rios Tigres e Eufrates sendo as primeiras formas colhidas pelo homem datadas há mais de doze mil anos atrás. Atualmente possui usos na alimentação humana, animal e usos industriais tendo seu principal cultivo na zona temperada do hemisfério norte (INFOAGRO, 2012b).

Araruta

Originária das regiões tropicais da América do Sul, a araruta (*Maranta arundinacea*) é uma importante planta herbácea cultivada em regiões costeiras compreendidas das Guianas até o Rio de Janeiro (NEVES *et al.*, 2005). A porcentagem de amido existente na araruta em base úmida obtida por Leonel e Cereda (2002) foi de 24,23%.

Batata

Cultivo originário da cordilheira andina, de grande variabilidade por constantes evoluções e cruzamentos com outras plantas do mesmo gênero, a batata (*Solanum tuberosum*) está presente na dieta do homem, como produto de transformação industrial e de matéria-prima para a indústria de amido e álcool. De 15% a 18% é a quantidade de material fermentescível presente na batata para a conversão em álcool, uma tonelada de batatas, em média, levaria à produção de 85 a 95 litros de álcool (MACHADO; ABREU, 2006).

Batata-doce

Tida como a quarta hortaliça mais consumida no Brasil, a batata-doce apresenta características favoráveis de cultivo como boa resistência à seca, ampla adaptação, baixo investimento e retorno elevado, além de grande capacidade de produção de energia por área e por tempo (MIRANDA *et al.*, 1995). Com uma produção marginal no Brasil pela baixa lucratividade, a batata-doce evidenciou a busca de novas alternativas mais atrativas para a exploração dessa cultura, sendo uma dessas alternativas, a produção de etanol. Estudos feitos

na Universidade Federal do Tocantins apontam rendimentos que variam de 4615 a 10467 litros de etanol por hectare de batata-doce plantada, com geração de 150 kg de resíduo para cada tonelada de raiz. Resíduo este, rico em proteína, podendo ser utilizado em alimentação animal (SILVEIRA, 2011).

Uma tonelada de batata-doce é equivalente, em média, a uma produção de 150 litros de álcool. O conteúdo amiláceo da batata-doce corresponde a 22% de amido e de 5% a 6% de açúcares redutores (MACHADO; ABREU, 2006).

Inhame

Também conhecido como cará-da-costa (*Dioscoreacayenensis*), o inhame tem sua origem na África e é cultivado em regiões tropicais. Por possuir alto valor energético e nutricional, seu cultivo é disseminado no mundo inteiro (SILVA *et al.*, 2008). Uma porcentagem de 20,43% de amido em base úmida no inhame foi obtida por Leonel e Cereda (2002).

Mandioca

A mandioca, *Manihot Esculenta crantz*, é uma euforbiácea de origem no continente americano que recebeu a denominação de “pão dos trópicos” por ser um alimento tanto do homem quanto dos animais. Sua composição é de 83,6 a 95,2% de carboidratos, com teor de amido entre 80,0 e 89,0%, proteínas de 2,1 a 6,2%, fibras de 1,7 a 3,8%, lipídeos de 0,2 a 0,7% e cinzas de 0,9 a 2,4% (MENDES, 1992).

No Brasil, um dos maiores produtores de mandioca no mundo, ela é plantada principalmente nas regiões norte e nordeste, onde seu cultivo é realizado conjuntamente com outros alimentos de ciclo curto, como feijão, milho e amendoim (IPEA, 2012; EMBRAPA, 2018).

O uso da mandioca como matéria-prima para produção de etanol ocorreu inicialmente em 1932 e teve um crescimento na década de 70, com o incentivo do programa Proálcool. Nessa época, foram construídas pequenas destilarias no meio rural, mas a ideia foi abandonada com o fim do ciclo do polo mandioqueiro (MACHADO; ABREU, 2006).

Outras Matérias-Primas

O bagaço de cana-de-açúcar é resíduo resultante da moagem e extração do caldo da cana, o bagaço de cana é um dos materiais lignocelulósicos mais produzidos no mundo. A

composição do bagaço em termos químicos é de cerca de 50% de α -celulose, 30% de pentosanas e 2,4% de cinzas (CARDONA *et al.*, 2009).

O bagaço e casca da laranja equivalem a 50% do peso da fruta (IPEA, 2012). Este resíduo é constituído de açúcares solúveis (cerca de 16,9%) e polissacarídeos insolúveis da parede celular: 9,21% de celulose, 10,5% de hemicelulose e 42,5% de pectina (formada principalmente por polímeros de ramnose, arabinose e galactose) (REZZADORI; BENEDETTI, 2009).

A produção de arroz no Brasil está distribuída entre Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso. Considera-se que 20% do processamento dos grãos geram casca e palha como resíduos, sendo estes compostos por aproximadamente 34% de celulose, 13% de hemicelulose e 29% de lignina (HICKERT, 2010; IPEA, 2012).

A soja é componente essencial de rações animais e alimentação humana e é a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas no Brasil. No entanto, 73% da cultura é transformada em resíduos, o que equivale a 2700 toneladas de resíduos para cada mil toneladas de grãos processados (Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas, 2012).

Os resíduos da extração de soja são constituídos basicamente de casca e fragmentos de soja. Um farelo deste resíduo apresenta 17% de proteína e 29% de fibra bruta, se assemelhando ao feno quanto ao teor de fibra (RURAL-CENTRO, 2011). A casca de soja possui 38% de celulose, 10% de hemicelulose e apenas 3% de lignina (HICKERT, 2010).

Análise Comparativa

Ao se analisar quais matérias-primas seriam potenciais candidatas à complementação de etanol no Brasil, alguns critérios técnicos e econômicos devem ser considerados. A Tabela 3 apresenta um resumo das principais matérias-primas abordadas para a produção de etanol no Brasil considerando produção anual, produtividade, rendimento em etanol, emissões de poluentes evitadas e custo da matéria-prima. É importante ressaltar que para o milho e o trigo, a produção corresponde aos resíduos. A produção do sorgo divulgada pelo IBGE é relativa ao granífero, não correspondendo portanto ao sacarino.

Os custos totais da cana, sorgo e batata-doce foram retirados de um estudo realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (JÚNIOR, 2009). Os custos totais de milho, trigo e mandioca foram retirados de dados públicos da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná para poder estabelecer uma comparação entre as matérias-primas citadas anteriormente.

Os custos da beterraba açucareira não foram calculados porque ela não é cultivada no Brasil. Devido à dificuldade na obtenção de dados de custos devido à quantidade considerável de variáveis para os cálculos e dificuldade de se encontrar valores de todas as matérias-primas reunidas em uma só referência, optou-se por utilizar os preços de regiões diferentes, mais especificamente dos estados do Paraná e do Rio Grande do Sul.

Incontestavelmente a cana possui vantagens produtivas bem superiores a outras matérias-primas. Tendo por objetivo analisar possíveis insumos para complementar a produção de etanol no Brasil, verifica-se que a mandioca mereceria mais atenção devido à sua importância dentro da comunidade brasileira e à sua expressiva produção anual (≈ 23 t/ano) que apenas é superada pela cana.

Além disso, possui ótima produtividade, rendimento em etanol, se comparada a maioria das matérias-primas citadas, e reduz consideravelmente a emissão de poluentes, perdendo apenas nesse quesito para a cana-de-açúcar. O único entrave seria seu alto custo de produção. O plantio da mandioca pode ser feito em qualquer época do ano, exigindo a umidade necessária para a fixação da planta, porém seu período de crescimento é longo, variando geralmente de 9 meses a 2 anos. O ciclo longo gera maiores despesas com manutenção.

Tabela 3: Resumo das principais matérias-primas para a produção de etanol no Brasil segundo critérios produtivos e econômicos.

| Matéria-prima | Produção (t/ano) | Produtividade (t/ha/ano) | Rendimento em etanol (l/ha/ano) | Emissões de poluentes evitadas (%) ² | Custo total de matéria-prima (R\$/t) |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| Beterraba açucareira ³ | - | 15 | 1600 | 35-56 | - |
| Cana-de-açúcar | 688.672.957 | 77 | 6000-9000 | 89 | 19,94 |
| Sorgo sacarino | - | 2,3 | 1100 | - | 31,84 |
| Milho ⁴ | 29.432.678 | 3,5 | 1600 | 0-38 | 327,67 |
| Trigo | 3.033.315 | 2,3 | 1100 | 19-47 | 676,00 |
| Araruta ⁵ | - | 12 | 1500 | - | - |
| Batata ⁶ | 3.744.685 | 20 | 3600 | - | - |

² Não há relatórios sobre emissões evitadas para grande parte das matérias-primas não comercialmente destinadas à produção de biocombustíveis.

³ A beterraba açucareira não possui produção no Brasil, sendo cultivada primordialmente a beterraba vermelha destinada à alimentação.

⁴ Para o milho e trigo, os custos são calculados em R\$/saca de 60kg, por isso transformou-se os valores em R\$/t por meio de regra de três simples.

⁵ Araruta, batata-doce e inhame não têm produção brasileira divulgada pelo IBGE no ano consultado.

⁶ A produção brasileira da batata fornecida foi a da batata do tipo inglesa.

| Matéria-prima | Produção (t/ano) | Produtividade (t/ha/ano) | Rendimento em etanol (l/ha/ano) | Emissões de poluentes evitadas (%) ² | Custo total de matéria-prima (R\$/t) |
|---------------|------------------|--------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------------|
| Batata-doce | - | 17 | 3200 | - | 37,23 |
| Inhame | - | 25 | 4800 | - | - |
| Mandioca | 23.142.091 | 13,5 | 4900 | 63 | 168,75 |

Fonte: Autores.

O milho, apesar de produção expressiva e tradição da cultura no Brasil, deixa a desejar na questão ambiental e em seus altos custos de produção. O trigo, essencialmente destinado à alimentação, possui os maiores custos de produção gerando cautela com relação aos investimentos na área por parte de investidores e produtores. Destinar a produção desses grãos para a obtenção de etanol deve ser analisado com cuidado, uma opção é a de aproveitar a grande geração de resíduos desses cultivos.

A rusticidade do cultivo da batata-doce é um diferencial na sua inserção na produção de etanol. No agreste de Sergipe, por exemplo, mais de 90% dos pequenos produtores deixaram de cultivar mandioca para se dedicar à batata-doce pelo seu baixo custo, ciclo rápido e fácil comercialização, atendendo a demanda interna e externa desse tubérculo exclusivamente para a alimentação. A saca de 40kg que há uma década era vendida a R\$4,50, agora é cotada a R\$ 120,00 (SEAF, 2021).

Outro destaque é o sorgo sacarino, porém este tem um longo caminho até adquirir a confiança de produtores e investidores. Estudos em andamento na Embrapa visando o melhoramento genético desta gramínea é uma esperança para atuação mais efetiva desta cultura no Brasil. O principal problema enfrentado pelo sorgo no país, segundo Miranda (2012) são os altos custos de transporte e custo de arrendamento, prejudicando a rentabilidade da utilização do sorgo sacarino em áreas de arrendamento.

Canova (2011) analisou vários cenários consorciados de produção de etanol no Brasil, tendo como base culturas agrícolas características do Rio Grande do Sul, conforme consta na Tabela 4. A conclusão obtida por Canova (2011) foi que todos os cenários são viáveis devido aos valores positivos de VPL (Valor Presente Líquido) e valores de TIR (Taxa Interna de Retorno) superiores ao TMA (Taxa Mínima de Atratividade), estipulado em 12.5%. Os cenários mais rentáveis foram os 1(b) e 3(b) por apresentarem valores de retorno de investimento (tempo) menores.

Ainda segundo Canova (2011) citando Zeferino Chielle, a combinação ou rotação de culturas é essencial para o bom rendimento do cenário agrícola para produção de etanol. Combinações de gramíneas como o sorgo com leguminosas como a mandioca são boas opções. Uma cultura utilizada por muito tempo pode gerar problemas de solos e pragas e acúmulo de doenças.

Melhorias no processo produtivo

As tecnologias utilizadas atualmente para produção de etanol foram desenvolvidas há cerca de 30 anos. No entanto, sabe-se que aproximadamente 40% do valor da produção do etanol são gastos com matéria-prima, de forma que o estudo de tecnologias para aumentar a viabilidade do uso de materiais celulósicos e resíduos agroindustriais seria uma contribuição significativa para a redução de custos e universalização do uso do etanol combustível (MACHADO; ABREU, 2006).

Com relação ao preparo de substratos de matéria-prima amilácea como a mandioca e a batata-doce como uma área de pesquisa com grande potencial de desenvolvimento é a de enzimas imobilizadas, pois apesar da alta conversão e baixo consumo energético, as enzimas são caras e muito sensíveis. Ainda, por serem misturadas ao caldo, as mesmas não podem ser recuperadas para reutilização.

Tabela 4: Análise de viabilidade econômica de diferentes cenários para a produção de etanol. (a) Cenários com 70% de financiamento e etanol a R\$1,04. (b) Cenários com 50% de financiamento e etanol a R\$1,50.

| Cenário | VPL (R\$) | TIR (%) | Retorno do investimento (anos) |
|---|--------------|---------|--------------------------------|
| 1 (a) Sorgo sacarino + cana | 561.806,10 | 73 | 1,96 |
| 1 (b) Sorgo sacarino + cana | 1.014.793,30 | 81 | 1,59 |
| 2 (a) Sorgo sacarino + mandioca | 282.555,36 | 51 | 3,6 |
| 2 (b) Sorgo sacarino + mandioca | 647.590,90 | 67 | 1,77 |
| 3 (a) Sorgo sacarino + batata-doce | 554.017,54 | 84 | 1,76 |
| 3 (b) Sorgo sacarino + batata-doce | 1.068.498,31 | 97 | 1,15 |
| 4 (a) Sorgo sacarino + cana + mandioca | 321.574,85 | 47 | 4,06 |
| 4 (b) Sorgo sacarino + cana + mandioca | 764.411,28 | 62 | 2,01 |
| 5 (a) Sorgo sacarino + cana + batata-doce | 299.915,20 | 43 | 4,58 |
| 5 (b) Sorgo sacarino + cana + batata-doce | 792.456,55 | 63 | 1,93 |

Fonte: Canova (2011).

Com esta técnica, as enzimas seriam “presas” a um substrato inerte, de forma que após o preparo do substrato, o caldo poderia ser filtrado e as enzimas recuperadas seriam novamente utilizadas, levando a uma economia no processo. Uma possível opção de pré-tratamento da celulose, com alta conversão é a explosão a vapor, também conhecida como auto-hidrólise, onde a biomassa moída é tratada com vapor saturado a 160-260°C e 0,69-4,83 MPa por alguns

segundos e então exposta a pressão atmosférica, para que o material entre em decompressão explosiva. No entanto, este processo pode destruir a fração de xilana, ou gerar compostos inibidores de crescimento microbiano (MACHADO; ABREU, 2006).

O principal problema presente no uso de materiais lignocelulósicos como matéria-prima para produção de etanol é a ausência de microrganismos que fermentem açúcares de cadeia longa e produzam etanol em concentrações viáveis. Uma forma de resolver esta questão é o estudo da engenharia genética para desenvolver estes microrganismos a partir da combinação das vantagens de diferentes espécies. Outra técnica de pré-tratamento da celulose é a sacarificação e fermentação simultâneas. Neste processo, adicionam-se simultaneamente os microrganismos que transformam a lignocelulose em açúcares fermentescíveis e os microrganismos de fermentação, de modo a minimizar a produção de compostos inibidores do crescimento de microrganismos, e aumentar a eficiência de conversão de etanol. A limitação do processo se dá pelo fato de a temperatura ótima de sacarificação ser 50°C e a de fermentação 35°C.

Levando em conta a necessidade de melhorias nos processos produtivos, e suas limitações para processamento de matérias-primas amiláceas e lignocelulósicas, o sorgo sacarino apresenta grande vantagem, pois o mesmo é composto por sacarose, glicose e frutose. Assim, as etapas de sacarificação, ou hidrólise, não seriam necessárias.

Vale a pena comentar que a hidrólise de matérias-primas lignocelulósicas ainda possui gargalos tecnológicos a serem superados. Marques (2004) aponta como gargalo a decomposição lenta da matéria-prima, sendo a lignina um obstáculo pela liberação de inibidores quando rompida. Outro gargalo seria a eficiência do processo. Na hidrólise ácida, o uso do ácido clorídrico, mais eficiente que o sulfúrico, tem um problema relacionado à corrosividade. Na hidrólise enzimática o problema são as enzimas muito caras. Há ainda a dificuldade de se obter uma rota eficiente para transformação de pentoses em etanol.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São inegáveis os benefícios decorrentes da utilização dos biocombustíveis tanto para a saúde quanto para o meio ambiente. As oportunidades de exploração de matérias-primas possíveis para a complementação da produção do etanol de cana-de-açúcar no Brasil são muitas. Dentre as culturas abordadas destacam-se a mandioca, a batata-doce e o sorgo.

O estudo realizado apontou alguns dos prós e contras de cada cultivo. Bem como os benefícios da rotação de culturas, aproveitando a entressafra da cana-de-açúcar. O investimento

na área de biocombustíveis é crescente. No Brasil, grandes indústrias visam parcerias para aumentar a produção de etanol e torná-lo cada vez mais competitivo a nível mundial.

Devem-se incentivar estudos para viabilizar os processos produtivos a partir de materiais lignocelulósicos, cuja utilização seria não apenas mais barata, no caso de resíduos agroindustriais, como também otimizaria a gestão destes resíduos no setor. Destacam-se na quantidade de resíduos gerados por ano no Brasil: a laranja, o trigo e o milho.

REFERÊNCIAS:

AGROENERGIA, E. **Olhar Agro e Negócios**. Disponível em: <https://www.olhardireto.com.br/agro/noticias/exibir.asp?noticia=Etanol_e_biodiesel_sao_so_dois_principais_derivados_de_biomassa_renovavel_usados_no_Brasil&edt=8&id=5630>. Acesso em: 25/01/2022

ANDRADE, R. R. **Modelagem cinética do processo de produção de etanol a partir de hidrolisado enzimático de bagaço de cana-de-açúcar concentrado com melão considerando reciclo de células**. Tese: Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 2012.

ARREDONDO, H. I. V. **Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis**. 2009.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Departamento de Divulgação do BNDES, 2008.

BOLONHEZI, D.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Plantio direto na Alta Mogiana. **O Agrônomo**, v. 51, p. 12-15, 1999.

BRANCO, J. E. H.; BARTHOLOMEU, D. B.; VETTORAZZI, A. C. Avaliação das emissões de CO₂ na etapa de transporte do etanol: aplicação de um modelo de otimização. **Transportes**, v. 28, n. 1, p. 63-80, 2020.

CALLÉ, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. UNICAMP, 2005.

CANOVA, M. D. Biocombustíveis: análise de viabilidade econômica da implantação de microdestilarias de etanol no Rio Grande do Sul. 2011.

CARDONA, C. A.; SANCHEZ, O. J.; GUTIERREZ, L. F. **Process Synthesis for Fuel Ethanol Production**. CRC Press, 2009.

CORTEZ, L. A. B.; GÓMEZ, E. O.; LORA, E. E. S. **Biomassa para energia**. Unicamp, 2008.

Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Brasília. 2012

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Embrapa Agroenergia-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 2011.

EMBRAPA. **Sorgo sacarino é tema de atualização tecnológica na Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2040555/sorgo-sacarino-e-tema-de-atualizacao-tecnologica-na-embrapa>>. Acesso em: 25/01/2022

EMBRAPA. Mandioca em Números 2018.

EXAME, R. **Etanol pode ajudar a África a reduzir emissões de CO₂**. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/etanol-pode-ajudar-a-africa-a-reduzir-emissoes-de-co2>>. Acesso em: 22/01/2022

FAO. **OECD/ Food and Agriculture Organization of the United Nations - OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. OECD Publishing, Paris., 2015.

FILIPPIN, F. L. P. Cultivo da cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum* L.) no Brasil: uma revisão. 2021.

GANDUGLIA, F.; LEÓN, J. G.; GASPARINI, R.; RODRÍGUEZ, M.; HUARTE, G.; ESTRADA, J.; FILGUEIRAS, E. Manual de biocombustíveis. IICA, ARPEL. 2009. (9292481215)

GARCIA, L. C.; DE SOUZA, A. M.; BARKEMA, H. A.; BALDIM, F. S.; NETO, P. H. W.; ROCHA, C. H. Custo e lucro da produção de canola e milho nos Estados Unidos da América e Brasil. **Revista Conexão UEPG**, v. 17, n. 1, p. 1-17, 2021.

GUEDES, J. M.; SANTOS, A. G. D.; DOS SANTOS, H. S. Uso da biomassa como fonte energética para produção de biocombustíveis. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, 2021.

HICKERT, L. R. Otimização da hidrólise da casca de arroz (*Oryza sativa*) e avaliação da capacidade de bioconversão deste hidrolisado a etanol e xilitol por leveduras. 2010.

INFOAGRO. **El cultivo de la remolacha azucarera**. Disponível em: <https://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/remolacha_azucarera3.htm>. Acesso em: 23/01/2022

INFOAGRO. **El Cultivo del Maíz**. Disponível em: <<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>>. Acesso em: 01/02/2022

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília, 2012.

JÚNIOR, A. G. R. **Análise da viabilidade econômica da produção de bio-etanol**. Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC, 2009.

KIRK, R. E.; OTHMER, D. F. **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. Wiley, 2005.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Food Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

MACEDO, I. C. Situação atual e perspectivas do etanol. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 157-165, 2007.

- MACEDO, L. C. H. **Etanol etílico: da cachaça ao cereal**. São Paulo: Ícone, 1993.
- MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2006.
- MARQUES, J. F. **Valoração ambiental.**, Embrapa, 2004.
- MAY, A.; DURAES, F. Sorgo sacarino é a nova aposta para produção de álcool. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2012.
- MENDES, B. D. A. **Obtenção, caracterização e utilização de puba como matéria-prima na produção de etanol**. Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- MIRANDA, J. E. C. D.; FRANCA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; SILVA, J. B. C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995.
- NASCIMENTO, R. **Etanol emite 73% menos CO2 que a gasolina**. Disponível em: <<http://economia.terra.com.br/etanol-emite-73-menos-co2-que-a-gasolina,f2084b47ee7da310VgnCLD200000bbcceb0aRCRD.html>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022
- NERSESIAN, R. L. **Energy for the 21st Century: A Comprehensive Guide to Conventional and Alternative Sources**. Taylor & Francis Group, 2015.
- NEVES, M. C. P.; COELHO, I. D. S.; ALMEIDA, D. L. **Araruta: Resgate de um cultivo tradicional**. Seropédica, 2005.
- NOVACANA. **Cana-de-Açúcar — Tudo sobre esta versátil planta**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana-de-acucar>>. Acesso em: 20/01/2022
- NOVACANA. **A produção de Cana de Açúcar no Brasil (e no Mundo)**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acesso em: 21/01/2022
- PUNDA, I. **Agribusiness Handbook - Sugar Beet White Sugar**. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2009.
- REZZADORI, K.; BENEDETTI, S. **Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja**. International Workshop Advances in Cleaner Production: UNIP São Paulo, 2009.
- RURAL-CENTRO. **Utilização de resíduos ou subprodutos da agroindústrias na alimentação de bovinos de corte**. Disponível em: <<https://www.ruralcentro.com.br/noticias/utilizacao-de-residuos-ou-subprodutos-da-agroindustrias-na-alimentacao-de-bovinos-de-corte-33686>>. Acesso em: 01/02/2022
- SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de Açúcar - Bioenergia, Açúcar e Etanol**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2012.
- SEAF. Seaf registra queda nos preços dos hortifrúti em junho. Secretaria de Estado de Agricultura Familiar 2021.

SILVA, A. D. A. D.; SANTOS, E. O.; GOMES, R. V. **Cultura do Inhame**. Disponível em: <<http://www.ipa.br/resp19.php>>. Acesso em: 01/02/2022

SILVEIRA, M. A. **Batata Doce: Bioenergia na Agricultura Familiar**. 2011.

SOUZA, J. S. I.; PEIXOTO, A. M.; DE TOLEDO, F. F. **Enciclopédia agrícola brasileira: A-B**. Edusp, 1995.

CAPÍTULO 12

BIOCOMBUSTÍVEIS E SUSTENTABILIDADE: UTILIZAÇÃO DE *EICHORNIA* *cRASSIPES* COMO FONTE DE BIOMASSA

Emanoel Hottes
Sumaia Hottes
André Marques dos Santos

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico atual trouxe consigo alterações no estilo de vida e padrões de consumo da sociedade. Contudo, esta evolução veio acompanhada de drásticas consequências para o meio ambiente, tais como: aumento da poluição, variações climáticas relacionadas ao aquecimento global, aumento dos gastos e investimentos relacionados a problemas de saúde ocasionados pela poluição, assim como um aumento expressivo na demanda por energia. Uma alternativa para minimizar os impactos relacionados à utilização de fontes não renováveis de energia está na transformação de biomassa em produtos que atendam a estas necessidades. Diversos processos são hoje utilizados na transformação de açúcares complexos em frações hidrocarbônicas passíveis de serem utilizadas como combustíveis, sejam elas em sua forma pura ou misturadas a combustíveis tradicionais. A possibilidade de produção de combustível verde a partir da biomassa oriunda do aguapé (*Eichornia crassipes*) apresenta-se como uma alternativa potencial, tendo em vista as propriedades e características desta planta.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa, aguapé, hidrocarboneto verde, biopolímeros.

INTRODUÇÃO

O mundo como o conhecemos hoje só foi possível graças ao desenvolvimento tecnológico impulsionado pela demanda crescente de energia. Os meios de transporte confortáveis, as casas cada vez mais modernas, os objetos utilitários que tornam nossa vida mais prática, tudo isso só foi possível devido à grande expansão tecnológica ocorrida desde a Revolução Industrial Inglesa do século XVIII e que se difundiu para o mundo no decorrer do século seguinte. Contudo, todo este avanço foi e ainda é em grande parte, baseado no consumo de energia oriunda de fontes não renováveis. Apenas uma pequena quantidade de CO₂ produzido pelo homem é reciclada e como consequência disto, a cada ano que se passa ultrapassamos mais a barreira limite de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (SMIL, 2004; ARESTA, 2010; XIAODING, MOULIJN, 1996).

Ainda hoje vivemos em uma sociedade extremamente classicista, onde é nítida a grande diferença de padrões de consumo e disponibilidade de serviços básicos. Desta forma, é de fundamental importância continuar a desenvolver políticas que proporcionem aos menos favorecidos uma melhor qualidade de vida, o que inevitavelmente resulta no aumento do

consumo energético, uma vez que mais pessoas passarão a acessar bens e serviços básicos da sociedade. Levando em conta o mencionado anteriormente espera-se um crescimento no consumo de energia primário superior ao crescimento populacional. Tal crescimento tende a interferir diretamente nas emissões de CO₂ para a atmosfera. Uma alternativa para controlar e até mesmo diminuir a emissão de gás carbônico é utilizá-lo como matéria-prima em processos químicos, porém, o potencial máximo de utilização de CO₂ é em média 100 vezes menor do que sua emissão no meio ambiente (CONTI, 2016; JONG, OMMEN, 2015; RAGAUSKAS, 2006; KOÇAR, 2013).

Atualmente, é aceito por milhares de pesquisadores em todo o mundo que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera é o principal responsável pelo aquecimento global e de danos causados ao meio ambiente. Outro fator relevante é o crescente aumento em casos de doenças relacionadas aos efeitos da poluição, estando associadas à morte de aproximadamente 5 milhões de pessoas ao ano em todo o mundo. Além do mencionado, um fator de extrema importância é a diminuição da qualidade de vida dos indivíduos no ambiente urbano, que reduz consigo a expectativa de vida em vários meses quando comparada com ambientes onde as pessoas não se encontram expostas a tal situação (HUMAN & HEALTH, 2016; WELP, 2011; NATIONS, 1987).

Neste sentido a deterioração do meio ambiente pelo homem é apenas uma questão temporal. Existe uma relação ambígua no que diz respeito a forma como lidamos com o meio ambiente e a crescente necessidade de se viver cada dia mais e com mais conforto. De modo que, considerando o modelo de vida atual, o nosso crescimento caminhará ininterruptamente e de forma ampliada em direção à destruição da sociedade tal como a conhecemos hoje (NORTH, STYRING, 2015).

No presente momento, é difícil acreditar que o equilíbrio ambiental possa ser alcançado sem que ocorra uma mudança drástica nos padrões de consumo e também dos meios de produção. Uma maneira de desenvolver nossa percepção do meio esta associada a estimar quantitativamente e da forma mais precisa possível os custos relacionados aos impactos do meio em nossas vidas. Por exemplo, devem ser contabilizados os efeitos negativos da poluição do ar na qualidade de vida onerando o sistema de saúde, a diminuição de produtividade em diversas atividades de importância econômica e os custos de remediação ambiental (NORTH, STYRING, 2015).

Observando o mundo ao nosso redor é fácil perceber que vivemos em uma economia que tende ao insustentável a longo prazo, baseada sobretudo na utilização de fontes não renováveis. Contudo, um maior interesse político por parte das grandes nações poluidoras associado aos esforços tecnológicos e em conjunto com uma evolução na percepção pessoal podem ser responsáveis por novas tendências e perspectivas humanas (WELP, 2011; NATIONS, 1987; NORTH, 2015).

REFERENCIAL TEÓRICO

Energia Verde

Uma abordagem atraente que pode encurtar nosso caminho em direção à sustentabilidade está na utilização de fontes de energia verde, sejam elas usadas de forma pura, misturada a outros componentes ou até mesmo em processos químicos que visem a produção de combustíveis usuais. Sendo assim, essas frações denominadas de hidrocarbonetos verdes poderiam ser misturadas aos combustíveis tradicionais, ultrapassando assim vários processos legislativos relacionados aos combustíveis (KOÇAR, 2013).

É de fundamental importância para se conseguir atingir as metas de mudança climática, direcionar nossa matriz energética para fontes economicamente e ambientalmente mais viáveis até que uma era de energia mais limpa seja estabelecida. Sabe-se atualmente que as fontes renováveis de energia correspondem a aproximadamente 12% da energia primária disponível no mundo (FIELD, 1998).

A biomassa é um material composto por biopolímeros funcionalizados (lignina/celulose/hemicelulose) baseados em derivados de açúcares e fenóis. A celulose é o biopolímero mais abundante da Terra, seguido pela hemicelulose e depois pela lignina. É importante levar em consideração também, no que diz respeito à capacidade de produção de biomassa, as diferenças existentes em relação ao metabolismo de fixação do carbono atmosférico pelas espécies vegetais. Neste aspecto, as plantas podem ser do tipo C3 e C4, e esta diferenciação está relacionada principalmente à capacidade que essas espécies possuem de se adaptar a condições de elevada temperatura e disponibilidade de água, que em última instância, se refletem na capacidade de produção de biomassa, oriunda da fixação do carbono atmosférico em açúcares por meio da fotossíntese. Assim, as vantagens das plantas C4 sobre as plantas C3 são mais pronunciadas em condições de intenso calor e menor demanda de água. Tais condições são típicas de regiões tropicais e semiáridas e que recebem uma grande quantidade de luz

durante um longo período do ano, refletindo assim no potencial de produção de biomassa (TALMADGE, 2014; ROSA, 2005; GOLDEMBERG et al, 2014).

Celulose

A celulose é um biopolímero estrutural constituído por muitas unidades repetidas de celobiose. Esta, por sua vez, é um dímero de glicose unido por ligações β -1,4-glicosídicas. As moléculas de glicose contêm em sua estrutura grupamentos hidroxila que estabelecem interações de hidrogênio inter e intramoleculares. Tais interações conferem à celulose uma estrutura com alto grau de cristalinidade o que a torna muito insolúvel em água e em diversos solventes convencionais. As moléculas de celulose se agregam na forma de feixes dando origem a microfibrilas, que são compostas por regiões com elevado grau de organização (cristalinas), alternadas com regiões com maior caráter amorfo. As microfibrilas compõem as fibrilas, e estas por sua vez as fibras celulósicas, ou seja, as fibras de celulose são constituídas por inúmeras moléculas de celulose (SILVA et al, 2009; FENGEL, WEGENER, 1989; KLOCK et al, 2005).

Hemicelulose

A hemicelulose, também chamada de poliose, é um heteropolissacarídeo complexo formado por vários açúcares de baixo peso molecular, como: arabinose, xilose, glucomanose, manose, glicose, ácido glucourônico, dentre outros. As proporções dos açúcares anteriormente mencionados variam de acordo com a espécie vegetal. As polioses diferem da celulose, pois além de serem constituídas por várias unidades distintas de açúcar, elas apresentam cadeias moleculares mais curtas, alto grau de ramificação e menor grau de polimerização. Diferentemente da celulose as polioses não apresentam regiões com cristalinidade, sendo inteiramente amorfas e devido a essa característica reagem com substâncias químicas mais facilmente do que a celulose (SILVA et al, 2009; FENGEL, WEGENER, 1989; KLOCK et al, 2005).

Lignina

A lignina é um heteropolímero amorfo composto por três diferentes unidades de fenilpropanos: álcool coniferílico, álcool sinapílico e o álcool p -cumarílico. A composição da lignina pode variar de espécie para espécie em um vegetal, devido a essa característica são extremamente complexas e difíceis de caracterizar. A lignina se encontra ligada as polioses e a celulose, atuando como uma verdadeira cola unindo as partes. Se comparada com a celulose, além de diferenças na composição, a lignina não é comum a todas as plantas, sendo encontrada apenas em plantas vascularizadas que apresentam tecidos com funções de transporte de

soluções aquosas e suporte mecânico (SILVA et al, 2009; FENGEL, WEGENER, 1989; KLOCK et al, 2005).

Conversão de Biomassa

O processo de conversão da biomassa pode se dar por diferentes vias, como: hidrólise em meio aquoso combinada com reações orgânicas ou com processos de fermentação como no caso da produção de etanol de segunda geração, e ainda por reações utilizando compostos inorgânicos combinados com solventes orgânicos. Nas refinarias por sua vez, a transformação de biomassa poder se dar por via térmica, a exemplo da pirólise (HUBER et al, 2006; HUBER et al 2007; CORTRIGHT et al, 2002).

A hidrólise em solução aquosa, pode levar a formação de uma variedade de produtos no meio. A exemplo do açúcar, que pode ser transformado em etanol por meio da fermentação alcoólica utilizando microrganismos apropriados ou ainda transformado nos ácidos furfúrico e levulínico, que após tratamento, levam a formação de outros produtos, como o furfural, utilizado como combustível juntamente com a gasolina. O açúcar pode também ser transformado em compostos cetônicos como por exemplo, a 2-butanona e a 2-pentanona. Os avanços tecnológicos voltados para o desenvolvimento de rotas de conversão de biomassa em compostos cetônicos podem contribuir para uma abordagem mais atual da conversão de biomassa em um material denominado bio-óleo, que devido a sua composição diversa e consistência é geralmente chamado de “bio-grude” (LUTERBACHER et al, 2014; ALONSO et al, 2010; HASAN et al, 2003).

Um processo industrial muito comum na produção do combustível a partir do petróleo é a gaseificação seguida pelo processo Fischer-Tropsch. Este mesmo processo pode também ser aplicado na produção do biocombustível, uma vez que, se trata de um procedimento termodinamicamente eficiente. No entanto, existem algumas desvantagens quanto à utilização desta metodologia. A primeira delas é que a gaseificação compreende várias etapas que não são favorecidas em uma mesma faixa de temperatura o que leva a formação de vários subprodutos indesejados. É necessária uma grande quantidade de energia para reverter a entropia dos produtos de gaseificação em hidrocarbonetos e por fim, o processo como um todo demanda um grande investimento inicial. Sem dúvida a gaseificação em dois estágios melhora a conversão de biomassa em gás de síntese, porém, requer temperaturas superiores a 1000°C (JIMÉNEZ-GARCÍA, 2015; PIEKARCZYK, 2013; HEIDENREICH, 2015).

No que diz respeito à produção de biocombustível a partir da lignina, é importante ressaltar que os derivados de lignina são compostos altamente funcionalizados, o que requer o consumo de uma grande quantidade de hidrogênio para a produção de hidrocarbonetos. Outro fator importante é o fato de que os derivados de fenol apresentam ligações carbono-oxigênio muito estáveis tornando a conversão total da lignina em porções de hidrocarbonetos praticamente impossível (PIEKARCZYK, 2013; HEIDENREICH, 2015).

Como já mencionado, a pirólise é um método empregado industrialmente na conversão de biomassa em biocombustível. Este método foi tido como um processo primário na conversão da biomassa, sendo um processo simples e aplicável em diferentes fontes de resíduos vegetais (GOYAL et al, 2008).

A pirólise é um processo de decomposição térmica na ausência de ar que se dá em temperaturas acima de 500 °C e se constitui na primeira etapa dos processos de combustão e gaseificação. A pirólise de uma biomassa pode produzir substâncias distintas, tais como: gases leves tipo CO₂, CO e H₂, além de hidrocarbonetos de baixo peso molecular. O gás é composto basicamente por monóxido de carbono, dióxido de carbono e hidrocarbonetos leves. O líquido de coloração escura, contém compostos altamente oxigenados, açúcares, poliaromáticos instáveis e imiscíveis em hidrocarbonetos. Cabe ressaltar também que ocorre a formação de uma razoável quantidade de água, em torno de 20 a 30% em massa. A porção sólida resultante é composta de carvão vegetal (GOYAL et al, 2008; ZHANG et al, 2007; WILDSCHUT, 2009).

O processo de preparação do Bio-óleo

O processamento e utilização da biomassa na obtenção do biocombustível estão intimamente relacionados com a composição do material. Se comparada com combustíveis fósseis, a biomassa apresenta um teor de compostos oxigenados muito maior pois, os biopolímeros presentes na biomassa possuem em sua composição moléculas altamente funcionalizadas. Cabe ressaltar que a quantidade de celulose, hemicelulose e lignina está relacionada com a espécie do vegetal (O'SULLIVAN, 1997).

Os carboidratos são poliidroxiáldeídos (aldoses) ou cetonas (cetoses), que naturalmente existem na forma hemiacetal. As pentoses (carboidratos de 5 C) e as hexoses (carboidratos de 6 C) podem ser encontrados na forma de heterociclos como a furanose e a piranose. As unidades monoméricas que compõem os biopolímeros são ligadas, como já mencionado anteriormente por meio de ligações glicosídicas, isto é, entre o carbono hemiacetal (C1) de um resíduo de hidrato de carbono a qualquer outra hidroxila de um segundo resíduo. Estas ligações têm como

característica atuarem como uma função acetal e não hemicetal, desta forma são altamente resistentes à bases, porém são bastante suscetíveis a hidrólise ácida. Qualquer carbono em hemicetal em carboidratos pode existir em duas configurações distintas: α e β , devido a formação de um centro estereogênico na forma cíclica. Estes estereocentros são baseados na estereoquímica relativa entre o carbono anomérico e o carbono de referência: C5 para as hexoses e C4 para as pentoses. Quando as ligações entre dois carbonos na forma cíclica estão na conformação *cis*, o anômero descrito é o β , já quando estão na conformação *trans*, o anômero presente é o α (O'SULLIVAN, 1997; BROWN, 2004; BAKER et al, 2000; BULÉON et al, 1998).

A suscetibilidade da ligação glicosídica ao processo de hidrólise ácida vai depender intimamente da natureza dos resíduos presentes, bem como, também de sua configuração. Já no caso de materiais poliméricos dependerá, além dos fatores mencionados, também de sua estrutura secundária (O'SULLIVAN, 1997; BROWN, 2004; BAKER et al, 2000; BULÉON et al, 1998).

A hemicelulose por sua vez, é um polímero de peso molecular bem mais reduzido que a celulose e sua baixa cristalinidade torna mais favorável o processo de hidrólise ácida. Os biopolímeros acima mencionados estão ligados em uma complexa rede que abraça as biomassas vegetais. As características apresentadas por estes materiais tornam a hidrólise dos carboidratos presentes nas biomassas um processo bastante complexo, uma vez que, é necessário lidar com variadas taxas de despolimerização e hidrólise de oligossacarídeos (BROWN, 2004; BAKER et al, 2000; BULÉON et al, 1998).

De forma geral, as ligações β -glicosídicas são hidrolisadas mais rapidamente do que as ligações α e as furanoses mais rapidamente do que as piranoses. Estudos sugerem que a hidrólise da ligação glicosídica no β -metilglucopiranosídeo chega a ser duas vezes mais rápida que no monômero α e que o β -arabino e o β -xilo metilglicosídeo é cerca de 5 vezes mais reativo do que o respectivo β -glucosídeo. Estas reatividades contrastam com a dificuldade encontrada no processo de hidrólise total da celulose, mostrando mais uma vez o impacto da estrutura secundária no mesmo (PULS, 1997; KUMAR et al, 2015; NAKASU et al, 2016).

A hidrólise ácida de hidratos de carbono dá origem aos monômeros de carboidratos e também aos oligômeros. Esta hidrólise, também chamada de sacarificação, pode ser realizada por duas vias distintas, a enzimática ou a catálise ácida. As reações realizadas por meio de catálise ácida podem ter preferência se comparadas com as realizadas via atividade enzimática,

uma vez que, em alguns casos se faz necessária a utilização de várias enzimas diferentes em um mesmo processo químico. No caso da hidrólise ácida, o teor de produção de carboidratos estará diretamente relacionado à concentração do ácido usado, à temperatura ao qual se dá o processo e também à fonte de biomassa. Maiores rendimentos podem ser alcançados por meio da utilização de dois processos em conjunto, a oligomerização seguida da sacarificação (PULS, 1997; KUMAR et al, 2015; NAKASU et al, 2016).

Catálise ácida

O processo de sacarificação seletiva da hemicelulose e da celulose pode ser obtido por meio da utilização de ácidos diluídos, tais como, ácido sulfúrico, nítrico ou fosfórico, em temperaturas relativamente baixas (80-120°C) e com rendimentos satisfatórios, chegando a 90%. Este processo é muito útil na indústria de alimentos onde as xilanas são de grande importância (NAKASU et al, 2016; FOGEL et al, 2005; AGUILAR et al, 2002).

Uma reação de solvólise (hidrólise) em biopolímeros ocorre através de uma sequência de complexas etapas: difusão do solvente através da matriz lignocelulósica, protonação do oxigênio glicosídico, ruptura da ligação glicosídica e a formação de um íon intermediário oxocarbênio, reação do íon oxocarbênio com um solvente nucleofílico (geralmente prótico), difusão dos produtos de reação no meio líquido e posterior separação (NAKASU et al, 2016; FOGEL et al, 2005; AGUILAR et al, 2002).

Por outro lado, tem-se a reação de cetalização que no caso dos carboidratos produz uma mistura de diferentes cetais como: 1,2-di-O-isopropilideno-b-d-xilofuranose (DX), 3,5-di-O-isopropilideno-b-d-xilofuranose (DX), 1,2-di-O-isopropilideno-a-d-glucofuranose (DX), 5,6-di-O-isopropilideno-a-d-glucofuranose (DX) e di-oligossacarídeos, geralmente devido a um complexo equilíbrio existente entre os seus membros cíclicos (piranose) e sua forma aberta (furanose). Uma questão que não pode ser deixada de lado é que dependendo do carboidrato presente e sua possível estereoquímica relativa, uma ou mais hidroxilas podem permanecer desprotegidas, o que no caso pode vir a tornar os derivados menos solúveis em hidrocarbonetos e menos suscetíveis ao craqueamento catalítico. A combinação da hidrólise catalisada por ácidos com reações orgânicas como a cetalização e acetilação em temperaturas brandas pode levar a transformação da biomassa em bio-óleo (AGUILAR et al, 2002; MORAES, 2001; ÁGOSTON et al 2015; ITO et al, 2012).

A acetilação é um método tradicionalmente empregado em química orgânica na proteção de grupos hidroxila e em particular na química de carboidratos. Açúcares acetilados

são intermediários muito importantes para a síntese de glicosídeos, oligossacarídeos e glicoconjugados (ÁGOSTON et al 2015; ITO et al, 2012).

Maia et al., (2010) investigaram a acetilação de monossacarídeos, dissacarídeos e também de metil glicosídeos com anidrido acético e mais seis diferentes tipos de zeólitas ácidas. Dentre os catalizadores examinados constatou-se que a zeólita H-BETA foi a que apresentou melhor desempenho e uma maior seletividade, proporcionando a formação de produtos acetilados com alto teor de rendimento. Um aspecto relacionado a esta zeólita que contribui para seu bom desempenho está associado ao seu grande tamanho de poro.

O efeito dos parâmetros do catalizador na química de hidrocarbonetos evoluiu de forma positiva graças a estudos relacionados com a investigação de modelos de craqueamento catalítico relacionados por exemplo, ao craqueamento do n-hexano. Uma maior razão parafina/olefina é observada quando zeólitas Y são comparadas com ZSM-5. Este efeito está relacionado ao processo de transferência de hidrogênio, que são muito favorecidos devido ao tamanho de poro da zeólita (RAHIMI, KARIMZADEH, 2011; PRIMO, 2014; CHENG, 2012; MAIA et al, 2010).

Aguapé (*Eichornia crassipes*)

A *Eichornia crassipes* é uma macrófita aquática monocotiledônea de água doce, pertencente à família das *Ponteriaceae*, sendo um vegetal nativo no Brasil e também presente em toda a região equatorial. No Brasil esta planta é conhecida popularmente pelo nome de aguapé ou jacinto d'água. Ela é geralmente utilizada como planta ornamental em lagos e aquários pois, sua flor tem um aspecto muito delicado e bonito. O aguapé tem em média 30 a 40 cm de comprimento, possui folhas arredondadas e raízes adventícias longas e fibrosas. Esta planta é classificada como sendo flutuante e apresenta também alta capacidade de descontaminação de águas poluídas (AZEVEDO, 1988; MAHMOOD et al. 2005; ROMITELLI, 1983).

Uma característica morfológica desta espécie é que ela possui uma epiderme composta por uma camada de células retangulares, que conseguem absorver nutrientes e gases diretamente da água. A parte anatômica que apresenta maior relevância neste vegetal é a presença de câmaras de ar e passagens de gás nos rizomas, folhas e raízes. As câmaras de ar proporcionam um tipo de atmosfera interna para a planta, além é claro, de serem responsáveis pela sua capacidade de flutuar (MAHMOOD et al. 2005; DAS, 2016; BATALHA, 2017).

Uma particularidade do aguapé é que a espécie consegue assimilar determinadas substâncias, incorporando-as à sua biomassa. No entanto, esta capacidade de absorção pode atingir um valor de saturação, sendo necessária a remoção desta planta para evitar o retorno dos contaminantes ao corpo hídrico, o que ocorreria com a morte e degradação das mesmas. Devido a boa capacidade de absorver substâncias do meio, o aguapé é amplamente utilizado em processos de fitorremediação onde, por exemplo, pode atuar removendo metais pesados do meio aquático (AZEVEDO, 1988; GONÇALVES JR et al, 2009; ROMITELLI, 1983).

Um aspecto negativo em relação à utilização da referida espécie vegetal em estratégias de fitorremediação está associado ao modo como se dá a reprodução do aguapé, como ele pode se reproduzir tanto de forma assexuada quanto sexuada, o controle das taxas de proliferação e crescimento tende a ser dificultado (GONÇALVES JR et al, 2009; MAHMOOD et al. 2005).

A tabela abaixo apresenta um comparativo dos teores de celulose, hemicelulose e lignina presentes no aguapé e em outros materiais utilizados como fonte de biomassa na produção de energia. Os valores apresentados são relacionados à matéria seca (GANGULY et al, 2012; GAO, 2006; REZANIA et al, 2015). Pode-se observar que os teores de lignina presentes no aguapé são inferiores aos observados em fontes mais comuns, como é o caso da cana e da casca de arroz.

Tabela 2: Valores dos diferentes polímeros encontrados em algumas fontes de biomassa.

| Fonte de biomassa | Celulose (%) | Hemicelulose (%) | Lignina (%) |
|-------------------|--------------|------------------|-------------|
| Aguapé | 25 | 35 | 10 |
| Cana-de-açúcar | 36 | 18 | 22 |
| Casca de arroz | 32 | 16 | 23 |
| Palha de arroz | 38 | 19 | 14 |
| Sabugo de milho | 32 | 29 | 18 |
| Capim-elefante | 30 | 30 | 8 |

Fonte: GANGULY et al, 2012; MAHMOOD et al. 2005; RODRIGUES, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro de um contexto socioeconômico e ambiental, a utilização do aguapé como uma possível fonte alternativa de biomassa para produção de hidrocarbonetos verdes se apresenta como uma boa opção. A escolha do aguapé como fonte de biomassa se mostra vantajosa principalmente quando comparada a fontes como o capim-gordura e elefante. Mesmo quando consideramos essas forrageiras como sendo fontes altamente competitivas na produção de biopolímeros, a sua produção esbarra em um fator extremamente delicado e importante que é a demanda por área fértil que poderia ser ocupada por outras culturas produtoras de alimento. Com o crescimento da população mundial, a produção de alimentos se torna uma tarefa cada

vez mais complicada, sendo assim, destinar áreas passíveis de produção de insumos voltados ao consumo humano para a produção de biocombustível não é uma alternativa satisfatória.

O aguapé é uma planta de fácil manuseio, uma vez que, não requer cuidados como irrigação, ou seja, não demanda consumo de água potável que pode ser destinada ao consumo humano e outras necessidades. Outro aspecto muito interessante é o fato desta planta ser empregada no processo de descontaminação de rios, lagos e outras fontes hídricas, sendo esta descartada após esse tempo de tratamento, ou seja, matéria prima que pode ser ainda destinada a um uso nobre, a produção de biocombustível. A sua composição bromatológica mostra também que seu baixo teor de lignina pode ser um fator positivo reduzindo os custos e o tempo do processo de pré-tratamento do material ligninocelulósico.

Muitos são os pontos positivos atribuídos ao emprego do aguapé e apesar de muitos avanços já estarem estabelecidos no que diz respeito a fontes de biomassa, esta planta pode vir a contribuir satisfatoriamente no processo de produção de energia mais limpa.

REFERÊNCIAS:

ÁGOSTON, K. et al. A new method testing the orthogonality of different protecting groups. **Carbohydrate Research**, 418, p. 98-103, 2015.

AGUILAR, R. et al. Kinetic study of the acid hydrolysis of sugarcane bagasse. **Journal of Food Engineering**, v. 55, p. 309-318, 2002.

Air Pollution: The Fourth-Leading Cause of Death Worldwide. **Human & Health**, p. 16-17, 2016.

ALONSO, D. M.; BOND, J. Q.; DUMESIC, J. A. Catalytic conversion of biomass to biofuels. **Green Chemistry**, v.12 (9), p. 1493, 2010.

ARESTA, M. Carbon Dioxide Recovery and Utilization. Kluwer Academic Publishers: The Netherlands, p. 407, 2010.

AZEVEDO, N, J. M. Novos conceitos sobre a eutrofização. **Revista DAE**, v. 48, p. 28, 1988.

BAKER, A. A. et al. New Insight into Cellulose Structure by Atomic Force Microscopy Shows the I α Crystal Phase at Near-Atomic Resolution. **Biophysical Journal**. v. 9 (2), p.1139-1145, 2000.

BATALHA, N. et al. Biohydrocarbons Production under Standard Refinery Conditions by means of a Representative Ketal Compound of Biocrude. **Energy Technology**, v. 5, p. 428-441, 2017.

BROWN, R. M., Cellulose structure and biosynthesis: What is in store for the 21st Century. **Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry**, v. 42 (3), p. 487-495, 2004.

BULÉON, A. et al. Starch granules: structure and biosynthesis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 23 (2), p. 85-112, 1998.

CHENG, Y. T.; HUBER, G. W. Production of targeted aromatics by using Diels–Alder classes of reactions with furans and olefins over ZSM-5. **Green Chemistry**, v. 14, p. 3114-3124, 2012.

CONTI, J. et al. International Energy Outlook 2016. Administration, U. S. E. I., p. 276, 2016.

CORTRIGHT, R. D.; DAVDA, R. R.; DUMESIC, J. A., Hydrogen from catalytic reforming of biomass-derived hydrocarbons in liquid water. **Nature**, v. 418 (29), p. 964-967, 2002.

DAS, A. et al. Production of bioethanol as useful biofuel through the bioconversion of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). **Biotech**, v.6, p. 70, 2016.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter: New York, 1989.

FIELD, C. B. et al. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. **Science**, v. 281, p. 237-240, 1998.

FOGEL, R. et al. Optimization of acid hydrolysis of sugarcane bagasse and investigations on its fermentability for the production of xylitol by *Candida guilliermondii*. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 122 (1), p.741-752, 2005.

GANGULY, A. et al. Studies on ethanol production from water hyacinth - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p. 966-972, 2012.

GAO, Y. et al. Physicochemical, pyrolytic, and combustion characteristics of hydrochar obtained by hydrothermal carbonization of biomass. **BioResources**, v.11, p.4113-4133, 2016.

GOLDEMBERG, J. et al. Ethanol learning curve the Brazilian experience. **Biomass and Bioenergy**, v. 26, p. 301-304, 2004.

GONÇALVES JR, A. C. et al. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichhornia crassipes*) visando a remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 31, p. 103-108, 2009.

GOYAL, H. B.; SEAL, D.; SAXENA, R. C. Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v.12 (2), p. 504-517, 2008.

HASAN, M. A.; ZAKI, M. I.; PASUPULETY, L. Oxide-catalyzed conversion of acetic acid into acetone: an FTIR spectroscopic investigation. **Applied Catalysis A: General**, v. 243 (1), p. 81-92, 2003.

HEIDENREICH, S.; FOSCOLO, P. U., New concepts in biomass gasification. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 46, p. 72-95, 2015.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts and Engineering. **Chemical Reviews**, v.106, p. 4044-4098, 2006.

HUBER, G. W.; IBORRA, S.; CORMA, A. Synthesis of Transportation Fuels from Biomass: Chemistry, Catalysts, and Engineering. **Chemical Reviews**, p. 1-51, 2007.

ITO, H.; KAMACHI, T.; YASHIMA, E. Specific surface modification of the acetylene-linked glycolipid vesicle by click chemistry. **Chemical Communications**, v. 48 (45), p. 5650-5652, 2012.

JIMÉNEZ-GARCÍA, G.; MAYA-YESCAS, R. Differences between Fisher-Tropsch synthesis of either gasoline or diesel based on changes of entropy and free energy. **Fuel**, v. 149, p. 184-190, 2015.

JONG, W. d.; OMMEN, J. R. V. **Biomass as a sustainable energy source for the future: fundamentals of conversion processes**. AIChE Wiley: Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Published simultaneously in Canada, p. 582, 2015.

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira. 3ª Edição revisada**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p.86, 2005.

KOÇAR, G.; CIVAS, N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 900-916, 2013.

KUMAR, S. et al. Kinetic studies of two-stage sulphuric acid hydrolysis of sugarcane bagasse. **Renewable Energy**, v. 83, p. 850-858, 2015.

LUTERBACHER, J. S.; MARTIN ALONSO, D.; DUMESIC, J. A. Targeted chemical upgrading of lignocellulosic biomass to platform molecules. **Green Chemistry**, v. 16 (12), p. 4816-4838, 2014.

MAHMOOD, Q. et al. Anatomical studies on water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) under the influence of textile wastewater. **Journal of Zhejiang University. Science. B**, v. 6, p. 991-998, 2005.

MAIA, A. J. et al. Ni-ZSM-5 catalysts: Detailed characterization of metal sites for proper catalyst design. **Journal of Catalysis**, v. 269 (1), p. 103-109, 2010.

MORAES, L. A. B.; EBERLIN, M. N. Ketalization of gaseous acylium ions. **Journal of the American Society for Mass Spectrometry**, v.12 (2), p.150-162, 2001.

NAKASU, P. Y. S. et al. Acid post- hydrolysis of xylooligosaccharides from hydrothermal pretreatment for pentose ethanol production. **Fuel**, v. 185, p.73-84, 2016.

NATIONS, U., Report of the World Commission on Environment and Development, p. 4, 1987.

NORTH, M.; STYRING, P. Perspectives and visions on CO₂ capture and utilisation. **Faraday Discuss**, v. 183, p. 489-502, 2015.

O'SULLIVAN, A. C. Cellulose: the structure slowly unravels. **Cellulose**, v. 4 (3), p. 173-207, 1997.

PIEKARCZYK, W. et al. Thermodynamic evaluation of biomass-to-biofuels production systems. **Energy**, v. 62, p. 95-104, 2013.

PRIMO, A.; GARCIA, H. Zeolites as catalysts in oil refining. **Chem Soc Rev**, v. 43 (22), p. 7548-7461, 2014.

PULS, J. Chemistry and biochemistry of hemicelluloses: Relationship between hemicellulose structure and enzymes required for hydrolysis. **Macromolecular Symposia**, v. 120 (1), p.183-196, 1997.

RAGAUSKAS, A. J. et al. The Path Forward for Biofuels. **Science**, n. 311, p. 484-489, 2006.

RAHIMI, N.; KARIMZADEH, R. Catalytic cracking of hydrocarbons over modified ZSM-5 zeolites to produce light olefins: A review. **Applied Catalysis A: General**, v. 398 (1-2), p. 1-17, 2011.

REZANIA, S. et al. The diverse applications of water hyacinth with main focus on sustainable energy and production for new era: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 943-954, 2015.

RODRIGUES, A. C. D. et al. Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: Possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 1, p. 262-276, 2016.

ROMITELLI, M. S. Remoção de Fósforo em efluentes secundários com emprego de macrofitas aquáticas do gênero *Eichhornia*. **Revista DAE**, 1983.

ROSA, A. V. d., *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. **Elsevier**, p. 689, 2005.

SILVA, R. et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 1436-1441, 2009.

SMIL, V. World History and Energy. **In Encyclopedia of Energy**, p. 549-561, 2004.

TALMADGE, M. S. et al. A perspective on oxygenated species in the refinery integration of pyrolysis oil. **Green Chemistry**, v. 16, p. 407-453, 2014.

WELP, L. R. et al. Interannual variability in the oxygen isotopes of atmospheric CO₂ driven by El Niño. **Nature**, n.477 (7366), p.579-582, 2011.

WILDSCHUT, J. et al. Catalytic hydrotreatment of fast pyrolysis oil: Model studies on reaction pathways for the carbohydrate fraction. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.28 (3), p. 450-460, 2009.

XIAODING, X.; MOULIJN, J. A. Mitigation of CO₂ by Chemical Conversion: Plausible Chemical Reactions and Promising Products. **Energy & Fuels**, v.10, p. 305-325, 1996.

ZHANG, Q.; CHANG, J.; WANG, T.; Xu, Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. **Energy Conversion and Management**, v. 48 (1), p. 87-92, 2007.

CAPÍTULO 13

ADSORÇÃO DE CORANTE REATIVO AZUL 19 EM SOLUÇÃO AQUOSA POR CARVÃO ATIVADO DERIVADO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Guilherme Augusto Prado Duarte
Fabiano Tomazini da Conceição
Maria Lucia Pereira Antunes
Rodrigo Braga Moruzzi

RESUMO

O etanol produzido da cana-de-açúcar ajuda a reduzir a emissão de aerossóis para a atmosfera, os quais são relacionados aumento da temperatura global devido ao efeito estufa. Contudo, para cada tonelada de cana-de-açúcar utilizada na produção de etanol, 280 kg de bagaço são gerados. A indústria têxtil é uma das maiores e mais tradicionais atividades nos segmentos produtivos e rentáveis do mundo, sendo responsáveis por uma parte importante da economia brasileira. Um dos corantes mais utilizados pela indústria têxtil é o corante reativo azul 19 (RB19). Assim, investigou-se a capacidade de carvão ativado derivado do bagaço da cana de açúcar em adsorver o RB19 presente em solução aquosa, com diferentes valores de pH (2, 3, 5, 7, 9 e 12) e concentrações iniciais de RB19 (50, 150, 200, 300, 400, 500, 800 e 1000 mg/L). A caracterização do carvão ativado mostrou micro tubos de até 1 μm de diâmetro e cavidades menores que 0.5 μm . A adsorção mostrou-se mais favorável em meio ácido que em meio básico, com a melhor remoção obtida em pH 2. Os dados de adsorção de RB19 em carvão ativado do bagaço de cana-de-açúcar foram obtidos por modelos de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich, as quais mostra relação de equilíbrio entre a quantidade do material adsorvido e a concentração na fase fluida. O modelo de adsorção de Freundlich resultou no melhor ajuste para os dados experimentais, com uma máxima adsorção de 53 mg/g em pH 2. Consequentemente, nossos resultados indicaram que o carvão ativado derivado do bagaço de cana-de-açúcar pode ser aplicado para a remoção de RB19 em estações de tratamento de efluentes em indústrias têxteis.

PALAVRAS-CHAVE: Corante; Carvão ativado; Isotermas de adsorção; Reuso de rejeitos; Tratamento de efluentes industriais.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil foram submetidas a vários impactos ambientais associados às mudanças de uso da terra, principalmente devido à retirada da vegetação natural da região do Cerrado para atividades agropastoris e cultivo de café durante o século dezenove. No século vinte, essas atividades foram trocadas pelo cultivo de cana-de-açúcar, para a produção de etanol, um biocombustível até hoje bastante utilizado nos veículos brasileiros. Após o Governo Federal implantar o Programa Nacional do Alcool (PROALCOOL), as áreas de produção de açúcar foram expandidas por mais de três milhões de hectares nas regiões centro-sul do Brasil (ADAMI et. al., 2012). O volume de etanol produzido

em 2019 no Brasil foi de $10,092 \times 10^3 \text{ m}^3$, com um volume armazenado em janeiro de 2020 de $2,493 \times 10^3 \text{ m}^3$ (BRASIL, 2020). O bagaço da cana-de-açúcar, material com alta composição de carbono, é considerado como um subproduto durante a produção de etanol. Atualmente, este subproduto é utilizado na geração de vapor para produção de energia elétrica para usinas de cana-de-açúcar. No entanto, há um grande excedente na sua produção, onde 280 kg de bagaço são gerados para cada tonelada de cana-de-açúcar processada (KARP et al., 2013).

Atualmente, o desenvolvimento sustentável premissa novas posturas do ramo industrial, adaptando um novo modo de produção das indústrias. Com isso, há uma preocupação em reduzir a geração de resíduos industriais ou em encontrar métodos que possibilitem a utilização dos resíduos gerados, reduzindo-se o desperdício de energia e de matéria prima. O mesmo pensamento é válido para a indústria do agronegócio, entre elas, a da cana-de-açúcar. Portanto, novos caminhos para o reaproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar têm sido explorados. Uma alternativa é a possibilidade de fabricação de carvão ativado a partir desta biomassa que poderia ser utilizado no tratamento de efluentes das indústrias têxteis. A indústria têxtil é uma das mais antigas e tradicionais nos segmentos produtivos e rentáveis do mundo, sendo responsável por importante parte da economia brasileira (BATISTA et al., 2016). Ela se caracteriza por um elevado consumo de água e uma geração de grandes volumes de efluentes líquidos, os quais apresentam altas concentrações de corantes e de produtos químicos, os quais podem ser tóxicos, o que torna a atividade têxtil uma das mais deficitárias na área ambiental (BLACKBURN, 2009; YEK et al., 2020).

Os efluentes industriais gerados nesta atividade costumam ser coloridos e resistentes ao tratamento convencional, com grande parte deles passando pelas estações de tratamento de efluentes (ETE) sem sofrer quaisquer alterações, causando intenso impacto no corpo d'água receptor. Os processos mais conhecidos e estudados para a remoção de corantes em efluentes têxteis são a coagulação/floculação, adsorção e processos oxidativos (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2003). Porém, a adsorção é a técnica que apresenta melhores resultados e a que tem a maior aplicação industrial (GÖK; ÖZCAN; ÖZCAN, 2010). Uma das formas mais eficientes de remoção de corantes em efluentes têxteis é realizada pela adsorção com carvão ativado, material com alta capacidade adsortiva. Um dos corantes mais usados nas indústrias têxteis é o corante reativo azul 19 (RB19), cuja fórmula molecular é $\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_{11}\text{S}_3\text{Na}_2$, é caracterizado como corante aniônico. Assim, este trabalho visou estudar a capacidade de remoção do RB19 em solução aquosa por carvão ativado do bagaço de cana-

de-açúcar em diferentes condições de pH (2, 3, 5, 7, 9 e 12) e concentrações iniciais de RB19 (50, 150, 200, 300, 400, 500, 800 e 1000 mg/L).

MATERIAIS E MÉTODOS

O carvão ativado do bagaço de cana-de-açúcar (CAB) foi produzido com bagaço de cana-de-açúcar via pirólise a 600°C e 1 h de tempo de residência sob atmosfera de nitrogênio gasoso (SEIXAS; GIMENES; FERNANDES-MACHADO, 2016). Após a ativação, o material foi lavado com água destilada por 30 minutos e a mistura foi centrifugada a 3500 rpm por 20 minutos. Em seguida, o CAB foi separado e seco em estufa a 60°C por 24 h. A morfologia do CAB foi identificada usando microscopia eletrônica de varredura (MEV, marca JEOL, modelo JSM-6010LA).

O corante reativo azul 19 (RB19) cujas características são apresentadas na Tabela 1, foi utilizado neste estudo. Todas as experiências de adsorção de RB19 em CAB foram realizadas em triplicata. As soluções aquosas de RB19 ($V = 50$ mL) foram misturadas com CAB ($m = 0,2$ g). As concentrações de RB19 foram medidas usando um espectrofotômetro Hach DR-2800 no comprimento de onda de 590 nm (SOUZA et al., 2013), sendo a água deionizada usada como controle. A quantidade de RB19 adsorvida no CAB, q_e (mg/g) e a porcentagem de adsorção (%A) foram determinadas usando as equações 1 e 2, respectivamente.

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V \quad (1)$$

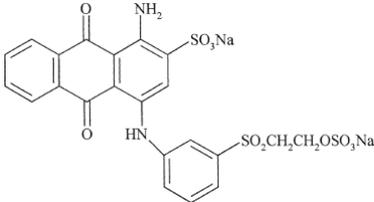
$$\%A = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: C_0 e C_e = concentração inicial e de equilíbrio de RB19, respectivamente (mg/mL); m = massa de CAB (g); V = volume de solução (mL).

A influência do pH na adsorção de RB 19 no adsorvente CAB foi realizada com C_0 de 300 mg/L a 25°C e em diferentes valores de pH (2, 3, 5, 7, 9 e 12). As amostras foram agitadas por 6 horas a 120 rpm e o controle de pH foi feito com HCl e NaOH, 0,1 M. Para os experimentos de adsorção, diferentes concentrações iniciais (C_0) foram investigadas (50, 150, 200, 300, 400, 500, 800 e 1000 mg/L) em pH 2 a 25°C, com as amostras agitadas a 120 rpm por 6 horas. Após este período, em ambos os experimentos realizados, as soluções foram

centrifugadas por 20 minutos a 3500 rpm e a concentração remanescente (C_e) de RB19 no sobrenadante foi medida.

Tabela 1: Características do corante reativo azul 19.

| | |
|-------------------------|--|
| Fórmula estrutural |  |
| Nome genérico | C.I. Reactive Blue 19 |
| Registro no C.A.S. | 2580-78-1 |
| Fórmula molecular | $C_{22}H_{16}N_2O_{11}S_3Na_2$ |
| Massa molar | 626,54 g/mol |
| Classe | Reativo |
| Grupo cromóforo | Função antraquinona ($C_{14}H_8O_2$) |
| Grupo reativo | Vinilsulfona ($-SO_2CH=CH_2$) |
| Grupo de solubilização | $SO_3^-Na^+$ |
| $\lambda_{m\acute{a}x}$ | 590nm |

Fonte: SOUZA et al. (2013).

As isotermas de adsorção de Freundlich (Equação 3) e Langmuir (Equação 4) (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, et al., 2003) foram aplicadas para modelagem de adsorção de RB19 em CAB.

$$q_e = k_F C_e^{1/n} \quad (3)$$

$$q_e = \frac{q_{max} k_L C_e}{1 + k_L C_e} \quad (4)$$

Onde: k_F = fator de capacidade de adsorção de Freundlich ((mg/g)/(mL/mg)^{1/n}); $1/n$ = parâmetro de intensidade de Freundlich; q_{max} = máxima capacidade de adsorção de RB19 (mg/g); k_L = constante de Langmuir relacionada a energia de adsorção (mL/mg).

O erro relativo médio (ARE – Equação 5) e R^2 foram usados conjuntamente em investigações isotérmicas para avaliar o melhor ajuste de dados aos modelos. Os resultados do ARE também foram usados para avaliar modelos sob (+) e sobre (-) previsão.

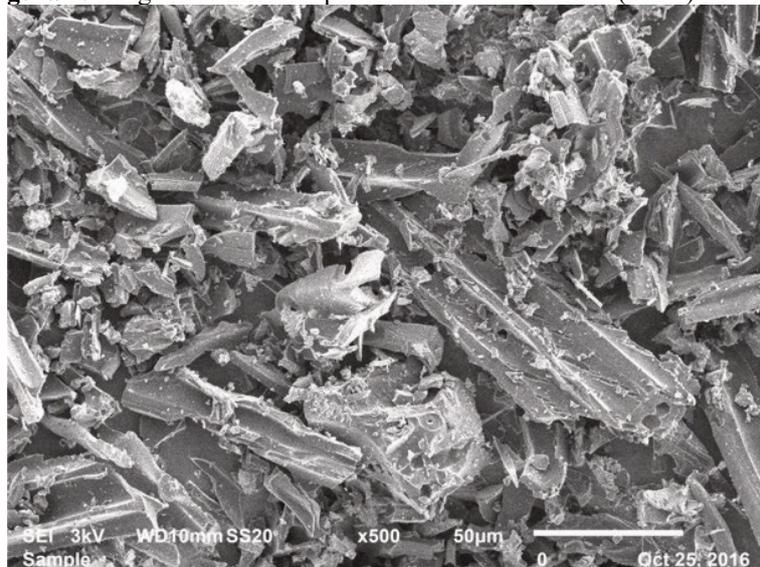
$$ARE(\%) = \frac{100}{N} \left(\frac{|exp| - |cal|}{|exp|} \right) \quad (5)$$

Onde: |exp| e |cal| = valores experimentais e calculados, respectivamente, para as modelos de isotermas de adsorção; N = número de amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta a morfologia de superfície do CAB. O CAB é composto por fragmentos de diferentes tamanhos, formas e texturas, pois ele é um material heterogêneo com micro tubos variando de 0,6 a 1,0 μm de diâmetro, e várias cavidades e poros menores que 0,5 μm .

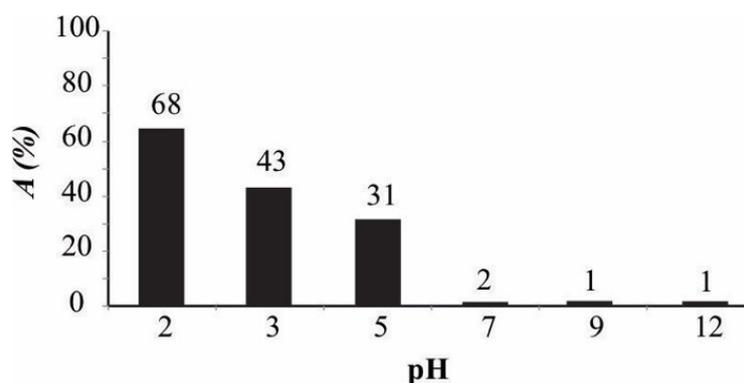
Figura 1: Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do CAB.



Fonte: Autores.

A eficiência de remoção do corante da solução aquosa depende do pH da solução, conforme relatado em diversos estudos publicados na literatura. A influência do pH na remoção de RB19 por CAB foi avaliada conforme demonstrado na Figura 2. Para a concentração testada, em pH de valor 2 foi verificado o maior valor de remoção (57%). A adsorção de RB19 diminuiu com aumento adicional até pH 7 (1%). Após pH 7, a eficiência de remoção de RB19 foi de aproximadamente 30%. O pH_{PCZ} é outra questão importante na remoção de RB19 por CAB, uma vez que determina a atração ou repulsão eletrostática entre os sorventes e os sorbatos. Nos valores de pH utilizados nos procedimentos experimentais (2 e 5), o CAB está em soluções com valores de pH inferiores ao pH_{PCZ} de 6,4 (SEIXAS; GIMENES; FERNANDES-MACHADO, 2016), indicando a existência de cargas positivas em sua superfície. Isso resulta na atração eletrostática que existe entre a superfície carregada positivamente do CAB e o aniônico RB19. Os valores de pH ácido (inferiores a 3) foram sugeridos para a remoção máxima de RB19 usando diferentes adsorventes (ABASSI; ASL, 2009; AZIZI; MOGHADDAM; ARAMI, 2011, ASGHER; BHATI, 2012; DEHVARI et al., 2016; EL-BINDARY et al., 2016, RAHDAR; SHIKHE; AHMADI, 2018; MURALIKRISHNAN; JODHI, 2020).

Figura 2: Efeito do pH na adsorção de RB19 por CAB em diferentes condições de pH.



Fonte: Autores.

A análise de remoção de RB19 demonstrou uma porcentagem diferente de remoção (Tabela 2), com valores entre 22 e 68% para pH 2. Além disso, as maiores remoções de RB19 em pH 2 foram obtidas para concentrações iniciais mais baixas, enquanto para as concentrações iniciais elevadas a remoção em ambos os valores de pH diminuiu para 22%, respectivamente. Assim, os resultados mostram claramente que a concentração inicial de RB19 desempenha um papel significativo no processo de adsorção de RB19 por CAB, uma vez que as interações adsorvente-adsorbato dependem do número de sítios ativos disponíveis na superfície do CAB.

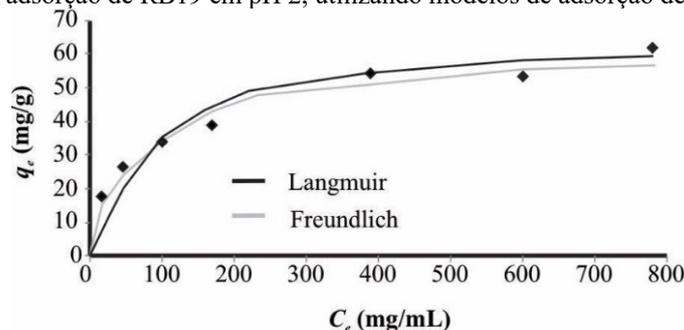
Tabela 2: Porcentagem de adsorção (%A) de RB19 em pH 2.

| C_0 (mg/L) | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 800 | 1000 |
|--------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| %A | 68 | 54 | 50 | 43 | 42 | 24 | 25 | 22 |

Fonte: Autores.

As isotermas de adsorção de Freundlich (Equação 3) e Langmuir (Equação 4) em são apresentadas na Figura 3. Os parâmetros de ambos os modelos são mostrados na Tabela 3. Os maiores valores de R^2 e os menores valores de ARE foram obtidos usando o método de Freundlich para ambos os valores de pH estudados. O modelo de Freundlich considera a não uniformidade de superfícies reais e descreve a adsorção iônica dentro de certos limites de concentração.

Figura 3: Isotermas de adsorção de RB19 em pH 2, utilizando modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich.



Fonte: Autores.

Tabela 3: Parâmetros de adsorção (%A) de RB19 em pH 2, usando os modelos de Langmuir e Freundlich.

| pH | Freundlich | | | | Langmuir | | | |
|----|---|-----|----------------|------------|----------------------------|---------------------------|----------------|------------|
| | k_F ((mg/g)/(mL/mg) ^{1/n}) | 1/n | R ² | ARE (%) | q _{max} (mg/g) | k _L (mL/mg) | R ² | ARE (%) |
| 2 | 2,6 | 0,5 | 0,99 | 6,7 | 58,1 | 0,006 | 0,99 | 9,1 |

Fonte: Autores.

A adsorção máxima foi de 53 mg/g em pH 2 e 30 mg/g em pH 5. A adsorção máxima de 53 mg/g em pH 2 foi superior a outros estudos envolvendo diferentes carvões ativados, com exceção para o carvão ativado da casca de coco (57,0 mg/g – MURALIKRISHNAN; JODHI, 2020) tais como casca de toranja (12,4 mg/g – ABASSI; ASL, 2009), polpa seca e borra de papel (4,1 mg/g - AZIZI; MOGHADDAM; ARAMI, 2011, 2011), pó de romã (3,6 mg/g - DEHVARI et al., 2016), casca de mosca de palha de arroz (38,2 mg/g - EL-BINDARY et al., 2016), casca de pistache (2,2 mg/g – RAHDAR; SHIKHE; AHMADI, 2018). Este fato permite destacar a vantagem do uso do bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente do RB19 em relação aos demais carvões ativados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O etanol produzido a partir da cultura da cana-de-açúcar ajuda a reduzir os principais aerossóis relacionados ao efeito estufa. No entanto, durante a produção de etanol, uma grande quantidade de bagaço de cana é gerada. Assim, neste estudo, o carvão ativado do bagaço de cana-de-açúcar (CAB) foi estudado como um potencial adsorvente da remoção do corante reativo azul 19 (RB19) de uma solução aquosa. O maior valor de remoção foi alcançado em pH 2 (68%) para as menores concentrações iniciais. A capacidade máxima de adsorção alcançada foi de 53 mg/g em pH 2 e 30 mg/g em pH 5, com concentração inicial de 300 mg/g a 25°C. A isoterma de adsorção de Freundlich foi o melhor ajuste para os dados experimentais. Os resultados obtidos neste estudo mostraram claramente que o CAB possui maior capacidade de adsorção do que outros estudos envolvendo diferentes carvões ativados, que podem ser utilizados como adsorvente no tratamento de efluentes de indústrias têxteis.

REFERÊNCIAS:

- ABASSI, M.; ASL, N. R. Removal of hazardous reactive blue 19 dye from aqueous solutions by agricultural waste. **Journal of the Iranian Chemical Research**, v. 2, p. 221-230, 2009.
- ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, R. M.; AGUIAR D. A.; SUGAWARA, L. M.; MELLO, M. P. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. **Sustainability**, v. 4, p. 574–585, 2012.

AKSAKAL, O.; UCUN, H. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of the biosorption of textile dye (Reactive red 195) onto *Pinus silvestris*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 181, p. 666-672, 2010.

ASGHER, M.; BHATTI, H. N. Evaluation of thermodynamics and effect of chemical treatments on sorption potential of Citrus waste biomass for removal of anionic dyes from aqueous solutions. **Ecological Engineering**, v. 38, p. 79-85, 2012.

AZIZI, A., MOGHADDAM, M.R. & ARAMI, M. Application of wood waste for removal of reactive blue 19 from aqueous solution; optimization through response surface methodology. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 11, p. 795-804, 2012

BATISTA, P. C. S.; LISBOA, J. V. O.; AUGUSTO, M. G.; ALMEIDA, F. E. B. Effectiveness of business strategies in Brazilian textile industry. **Revista de Administração**, v. 51, p. 225-239, 2016.

BLACKBURN, R. 2009 Sustainable textiles: life cycle and environmental impact. Woodhead Publishing.

BRAZIL 2020. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Produção de Biocombustíveis**. Acesso em: 20 jan., 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>

DEHAVI, M.; GHANEIAN, M. T.; EBRAHIMI, A.; JAMSHIDI, B.; MOOTAB, M. Removal of reactive blue 19 dyes from textile wastewater by pomegranate seed powder: isotherm and kinetic studies. **International Journal of Environmental Health Engineering**, v. 5, p. 5. 2016.

EL-BINDARY, A.A., ABD EL-KAWI, M.A., HAFEZ, A.M., RASHED I.G.A. & ABOELNAGA, E.E. Removal of reactive blue 19 from aqueous solution using rice straw fly ash. **Journal of Materials and Environmental Science**, v. 7, p. 1023-1036, 2016.

GÖK, Ö.; ÖZCAN, S. S.; ÖZCAN, A. Adsorption behavior of a textile dye of Reactive Blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite. **Applied Surface Science**, v. 256, p. 5439-5443, 2010.

KARP, S. G.; WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, V. T.; SOCCOL, C. R. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: a review. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, p. 679-689, 2013.

MURALIKRISHNAN, R.; JODHI, C. Biodecolorization of reactive dyes using biochar derived from coconut shell: batch, isotherm, kinetic and desorption studies. **ChemistrySelect**, v. 5, p. 7734-7742, 2020.

RAHDAR, S.; SHIKHE, L.; AHMADI, S. Removal of Reactive Blue 19 dye using a combined sonochemical and modified pistachio shell adsorption processes from aqueous solutions. **Iranian Journal of Health Sciences**, v. 6, p. 8-20, 2018.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Tratamento da vinhaça por adsorção em carvão de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 39, p. 172-179, 2016.

SOUZA, K. C.; ANTUNES, M. L. P.; COUPERTHWAITTE, S. J.; CONCEIÇÃO, F. T.; BARROS, T. R.; FROST, R. Adsorption of reactive dye on seawater-neutralized bauxite refinery residue. **Journal of Colloid and Interface Science**. V. 396, p. 210-214, 2013.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. Wastewater engineering: Treatment and reuse. Fourth ed., Metcalf & Eddy, Inc, 2003.

YEK, P. N. Y.; PENG, W.; WONG, C. C.; LIEW, R. K.; HO, Y. L.; MAHARI, W. A. W.; AZWAR, E.; YUAN, T. Q.; TABATABEI, M.; AGHBASHLO, M.; SONNE, C.; LAM, S. S. Engineered biochar via microwave CO₂ and steam pyrolysis to treat carcinogenic Congo red dye. **Journal of Hazardous Materials**, v. 395, p. 122636, 2020.

CAPÍTULO 14

ANÁLISE DE ESTUDOS SOBRE A TEMÁTICA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL E RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

Ranniclebia Kelly Rodrigues Viana
Fredson Pereira da Silva
Patrícia Barbosa da Silva
Andrea Almeida Cavalcante
João César Abreu de Oliveira Filho
Hilton Nobre da Costa
Adalberto Gonzaga da Cruz Júnior
Telma Gomes Ribeiro Alves

RESUMO

A Educação Ambiental com os alunos contribui para o despertar da consciência destes sobre a importância do meio ambiente e de sua conservação. Logo, a escola por ser um espaço que atua no processo de formação pessoal e social dos seus alunos estabelece a conexão para a inserção da Educação Ambiental e da interdisciplinaridade entre as disciplinas. Diante disso, o objetivo nesse estudo foi descrever a proposta da Educação Ambiental tendo o lixo como tema interdisciplinar. A metodologia adotada nessa pesquisa teve como caráter qualitativo, do tipo levantamento bibliográfico, no qual é apresentado um estudo com base em alguns trabalhos relacionados à proposta da Educação Ambiental e lixo como tema interdisciplinar, as etapas analisadas nos artigos foram: temas abordados, como foram realizados, objetivo, os conceitos investigados e como foi realizada a investigação, atividades envolvidas e os resultados obtidos. Inserir o estudo da interdisciplinaridade e do lixo para pessoas possibilita a formação de cidadãos éticos e responsáveis, nessa perspectiva que alcançaremos bons resultados, através de palestras nas escolas e oficinas convidando a comunidade para participar dessas ações de sensibilização ambiental. Desenvolver um tema transversal de interesse mundial, provoca no aluno a capacidade de pensar ecologicamente e socialmente, fazendo com que o mesmo possa ter a possibilidade de transmitir o conhecimento a outras partes envolvidas, como a família e a comunidade que está inserido.

PALAVRAS-CHAVE: Meio ambiente, Reciclagem, Interdisciplinaridade, Resíduos sólidos.

INTRODUÇÃO

Educação Ambiental (EA) é um processo de aprendizagem permanente e inovador, que pode desenvolver conhecimentos e habilidades, bem como estímulos para adquirir valores e atitudes necessárias para lidar com as questões e os problemas ambientais, e assim, encontrar soluções sustentáveis (TANNOUS, GARCIA, 2008).

Trabalhar a EA com os alunos contribui para o despertar da consciência destes sobre a importância do meio ambiente e de sua conservação. Logo, a escola por ser um espaço que atua

no processo de formação pessoal e social dos seus alunos, é considerada um local que lhes permitem se reconhecerem como integrantes do meio ambiente (CUBA, 2010).

É através da EA que alunos, professores, supervisores, e comunidade externa como o todo, terão a oportunidade de tornarem a prática interdisciplinar como conhecimento permanente sobre temáticas diversas. Castro (2008), expõe a ideia de que “o meio ambiente é totalmente multidisciplinar e apenas um método científico não é suficiente para compreender a realidade”.

Um dos agravamentos ao meio ambiente é a produção do lixo. Anualmente são produzidos milhões de toneladas de lixo contendo vários materiais recicláveis como vidros, papéis, latas, dentre outros. Com o reaproveitamento dos resíduos antes de serem descartados, o acúmulo destes no meio ambiente diminui, e com isso a poluição ambiental é minimizada, melhorando assim, a qualidade de vida da população. Na escola a produção de lixo não é diferente, e observa-se que os resíduos mais encontrados no ambiente são produtos orgânicos, provenientes de restos de refeições, assim como papéis (SOARES, SALGUEIRO, GAZINEU, 2007).

Seguindo essa temática, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) da educação abordam o tema meio ambiente como transversal, versando sobre o professor a inserção da problemática do lixo em sala de aula, a fim de proporcionar aos alunos, o entendimento sobre a importância da destinação correta do lixo, bem como dos problemas gerados a partir de seu descarte em lugares inapropriados (BRASIL, 1997).

Nesse contexto, a temática lixo pode ser desenvolvida como promoção de EA, seja no ambiente escolar ou fora dele, através da abordagem de conceitos e atividades relacionados à coleta seletiva, por exemplo, uma vez que a EA é um processo de aprendizagem permanente, por meio do qual o indivíduo e a coletividade constroem valores éticos, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente (CASTRO, 2008).

Diante disso, o objetivo nesse estudo foi descrever uma proposta da Educação Ambiental com o lixo como tema.

O LIXO E SEUS AGRAVANTES AO MEIO AMBIENTE

A poluição antrópica do meio ambiente teve sua percepção em eras remotas, a exemplo da era antes de Cristo (a cerca de 10 mil anos) tendo início na prática da agricultura. Contudo, percebe-se, que a partir do século XVIII, com a Revolução Industrial, a qual é marcada pelo

capitalismo e pelas mudanças do sistema de produção, a poluição do meio aumentou, e trouxe consigo muitos problemas ambientais, como o lixo, por exemplo (Cuba, 2010). A produção acentuada de lixo está diretamente ligada ao crescimento populacional e a necessidade de consumir produtos industrializados, fatores que contribuem para o surgimento de efeitos adversos ao ambiente (MUCELINI, BELLINI, 2008).

Segundo (MUCELINI, BELLINI, 2008), lixo é aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua, entulho. Tudo o que não presta e se joga fora. Sujidade, sujeira, imundície e os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.

O consumo diário de produtos industrializados é responsável pela contínua produção de resíduos. Isso ocorre principalmente nas cidades, onde se percebe acúmulos de sujidade por várias partes, provenientes das ações antrópicas. Em algumas cidades brasileiras, esses dejetos são depositados a céu aberto, causando impactos ambientais, como contaminação do ar, da água e do solo (MUCELINI, BELLINI, 2008).

Podemos citar como exemplos da destinação final do lixo, os famosos lixões ou (aterros comuns), aterros controlados, que se configuram menos agressivos ao ambiente e os aterros sanitários, sendo este último o mais praticado atualmente pelas empresas em descarte correto dos resíduos (SOARES, SALGUEIRO, GAZINEU, 2007). Segundo Almeida (2009), é identificado como lixões, lugares que são depositados resíduos de maneira desordenada, sem a devida compactação do lixo e sem uma cobertura necessária, gerando na ambiência a contaminação do solo, dos lençóis freáticos e a proliferação de macro e microrganismos. Os Aterros Controlados não são tão graves quanto os lixões em suas estruturas, uma vez que, os mesmos controlam a impermeabilidade dos resíduos e não impactam tanto os lençóis freáticos, entretanto, são encontrados problemas, mas de modo menos agressivo ao meio (Almeida,2009).

Os aterros sanitários, são considerados uma das técnicas mais seguras de destinação dos resíduos sólidos pois permite eficiência e segurança no controle do processo, e na maioria das vezes, apresenta a melhor relação custo-benefício (BRASIL, 2004).

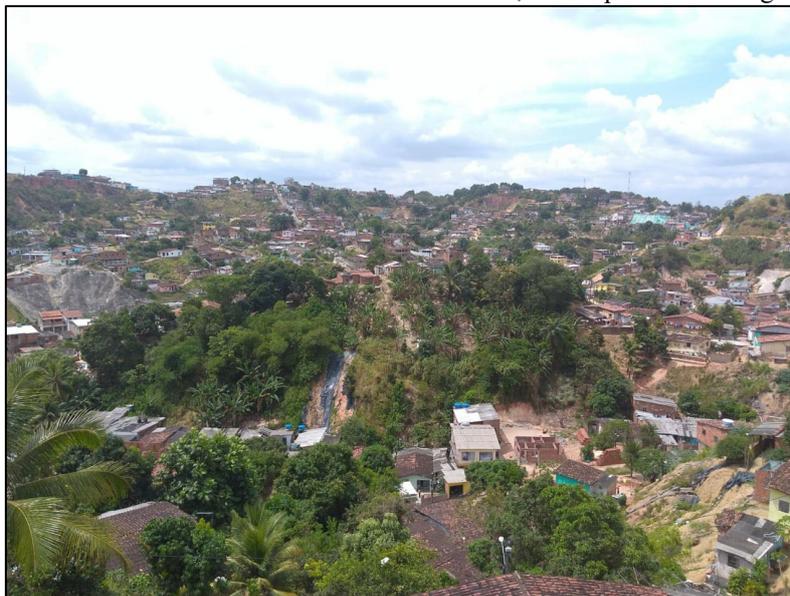
Em relação aos impactos ambientais, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 001/86 no artigo 1, define-os como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições sanitárias do meio ambiente, a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

A problemática ambiental gerada pelo lixo é de difícil solução, uma vez que a maior parte das cidades brasileiras apresentam um serviço de coleta que não prevê a separação dos resíduos diretamente da fonte (MUCELINI, BELLINI, 2008). É comum notarmos que são bastante os agravos ambientais que são percebidos como potencialidade degradante ao meio, como por exemplo, o desmatamento, queimadas, poluição e industrialização, todos estes, causados e estimulados por atividades humanas (OLIVEIRA, SOUSA, OLIVEIRA, 2018).

Os problemas ocasionados pelas ações humanas relacionados a distribuição habitacional nos centros urbanos, envolvem principalmente as pessoas de baixa renda, que sem condições financeiras passam a habitar inadequadamente, na maioria das vezes, em áreas que deveriam ser destinadas a preservação ambiental (OLIVEIRA, SOUSA, OLIVEIRA, 2018). A exemplo, dos deslizamentos de terra que acontece no litoral do Brasil (Figura 1), pela retirada da vegetação e pela população, que não possui moradia adequada, procura áreas de encosta para construir suas casas, com a chuva, muitas vezes as casas caem e ficam soterradas, com casos de morte.

Figura 1: Área de deslizamento de terra no bairro dos Estados, município de Camaragibe, Pernambuco.



Fonte: os autores, 2018.

Diante do exposto, podemos observar que o lixo representa um grave problema, tanto para os presentes quanto para as futuras gerações. É na escola que essa temática representa fator importante de discussão, visto que, o professor é responsável pela formação do cidadão envolvido.

O professor é responsável pela instrução do educando, possibilitando ao mesmo vivenciar situações diversificadas que favorecem o aprendizado, para dialogar de maneira competente com a comunidade, aprender a respeitar e a ser respeitado, a ouvir

e a ser ouvido, a reivindicar direitos e a cumprir obrigações, a participar ativamente da vida científica, cultural, social e política do País e do mundo (BRASIL, 1997, p. 35).

Eigenheer (2009) realizou um levantamento da história do lixo, e esclarece que as atuais usinas de triagem têm suas bases lançadas em Bucareste (1895) e em Munique (1898), onde os catadores garimpavam artigos valiosos que podiam ser revendidos ou reutilizados, assim como alimentos.

Para tanto a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS é bastante atual, e esclarece todos os aspectos sobre a geração, destinação, origem e equilíbrio para com o lixo.

Para conhecimento total, os objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Figura 2), promovem a preocupação que a população deve ter com a preservação do ambiente, com isso se responsabilizando em contribuir para a manutenção do ambiente sadio. No Art 7º inciso I, pode ser observado a preocupação dos governantes ao instituir essa lei, face a: I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental (Brasil, 2010).

Figura 2: Esquema do Plano Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil.



Fonte: Pensamento verde, 2013.

Em seu art. 3º, a lei aborda, especificamente no inciso II onde esclarece o que é área de ocorrência do lixo e deixa a reflexão. II área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos. Entende-se que o

local de contaminação que são expostos os resíduos provocam desequilíbrio no ambiente (BRASIL, 2010).

Em conformidade, o artigo 4º reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

É importante ressaltar que a história dos resíduos sólidos no mundo teve um marco importante em sua trajetória. Muitos na época não se importavam para onde o lixo ia, e principalmente, quem estaria à frente do recolhimento do mesmo. Os seres humanos sempre produziram resíduos, desde os tempos remotos, ainda quando se tinham registros da população nômade. Nos anos 10 mil a. C, quando começaram a registrar o convívio em comunidades, a produção de lixo só aumentou. Mesmo depois da Revolução Industrial, a importância de descarte do lixo não era vista pela sociedade (DEUS, BATTISTELLE, SILVA, 2015).

Após a Revolução Industrial, o descarte dos resíduos começou a ganhar importância na sociedade, principalmente no campo da saúde pública. Várias conferências foram realizadas, dentre elas as discutidas como peso ambiental. A de Estocolmo, em 1972, a de Tbilisi 1977 em seguida na ECO 92, no Rio de Janeiro (DEUS, BATTISTELLE, SILVA, 2015).

Na tentativa de amenizar e conscientizar a população sobre a geração e destinação dos resíduos sólidos, foi instituído a política dos 3R's, que significa, Reduzir, Reutilizar e Reciclar. O principal objetivo da política é a sensibilização para uma tomada de consciência na correta gestão dos resíduos urbanos e industriais (SILVA et al., 2017). Mais tarde a política do 3 R's ganhou força e segundo o Ministério do Meio Ambiente - MMA, a política passou a ser olhada como os 5R's, que trouxe para a população a percepção de: reduzir, reutilizar ou reaproveitar, reciclar, repensar e recusar (SILVA et al., 2017).

Em vista dos argumentos levantados sobre o lixo, é importante ressaltar que trabalhar um tema transversal na escola de maneira a levar o aluno a manifestar interesse pelo conteúdo e aplicá-lo no cotidiano de vida, é promover a educação ambiental ligada a várias formas de transmissão pelas disciplinas estudadas, seja matemática, ciências, história, geografia, português, artes a forma de manter a interdisciplinaridade dentro da sala de aula.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E INTERDISCIPLINARIDADE

A Educação Ambiental (EA) é um processo de aprendizagem permanente que deve desenvolver conhecimentos, habilidades e motivações para adquirir valores e atitudes

necessárias para lidar com questões e problemas ambientais, tais como o lixo, e encontrar soluções sustentáveis (TANNOUS, GARCIA, 2008).

Segundo Fazenda (2008,) se caracterizarmos a interdisciplinaridade (Figura 3), como união de disciplinas, cabe pensarmos em currículo, por outro lado, se definirmos o conceito como atitude de ousadia e seguir rumo ao conhecimento, cabe ponderar a cultura do ambiente em que são formados os professores.

Figura 3: Esquema da abordagem da interdisciplinaridade e suas contribuições.



Fonte: Rios, Sousa, Caputo, 2019.

O conceito de Interdisciplinaridade abrange não só uma disciplina e suas dimensões, mas uma vasta interação existente entre várias matérias, porém, se olharmos para a interdisciplinaridade na educação, não podemos permanecer apenas na prática comum, é necessário que se proceda de modo a investigar os porquês dessa didática histórica contextualizada (FAZENDA, 2015).

Entre os termos antes usados para manifestar a interdisciplinaridade, conhecemos a transdisciplinaridade, não sendo termos excludentes, e nem com significações próprias, mas que são usados como cronologia textual. Mediante exposto, (FAZENDA, 2008) exemplifica como classifica os termos transcritos, sob a ótica de observação dos fatores externos visando a compreensão do que seria a Transdisciplinaridade e Interdisciplinaridade. Ela observa que é necessário sintetizar as palavras, sendo essas: “espera, coerência, humildade, respeito e desapego, sob a estreita vigilância de um olhar multifacetado e atento”, o uso de tais termos possibilita o pensar e caracterizar os significados de Trans e Interdisciplinaridade.

Com isso, entende-se como forma de interação Transdisciplinar, o conhecimento na dinâmica das relações entre sujeito e objeto, e a contextualização presente no diálogo, a teoria e a prática, a integração do pensamento, do sentimento e do corpo e a associação do indivíduo com a sociedade e a natureza (FAZENDA, 2015).

Partindo das caracterizações citadas anteriormente, o termo usado para também reforçar a definição de interdisciplinaridade, é o da Multidisciplinaridade, que estabelece a integração de várias áreas do conhecimento para a resolução de problemas ou estudo de acontecimentos (FAZENDA, 2015).

Por outro lado, a interdisciplinaridade manifesta-se como um método capaz de romper com a lógica puramente matemática, apontando o papel humanista da educação. Então, o que se busca com a interdisciplinaridade é esse caráter unitário, que dialoga com todos os saberes, com a finalidade de cooperar com os diversos pensamentos (CONRADO, SILVA, 2017).

Segundo Loureiro e Cunha (2008), muitas tentativas procuraram demarcar, através de elementos da Sociologia da Educação, uma EA que se articulasse com as forças progressistas, contra uma outra que se articulasse com as forças conservadoras da sociedade, visando respectivamente a transformação ou a manutenção das relações sociais. O que uniu essas novas perspectivas da EA, que diariamente romperam com o modelo convencional, foi a hipótese de que só seria possível proteger a natureza se, ao mesmo tempo, se transformassem a sociedade, pois apenas reformá-la não seria suficiente.

Ferreira et al., (2014), afirmaram que na conferência de Estocolmo, em 1972, pôde ser observado que a preocupação principal com a humanidade e o ambiente resultou em esclarecer que: tanto as gerações presentes como as futuras, tenham reconhecidas como direito fundamental, a vida num ambiente sadio e não degradado. A Conferência foi sinalizada pelo embate entre o ponto de vista dos países desenvolvidos e dos países em desenvolvimento (TANNOUS, GARCIA, 2008).

Passados três anos da conferência de Estocolmo, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO em 1975, organizou em Belgrado (Iugoslávia), um Encontro Internacional em Educação Ambiental onde elaborou o Programa Internacional de Educação Ambiental - PIEA que idealizou os princípios norteadores: a Educação Ambiental deve ser continuada, multidisciplinar, integrada às diferenças regionais e voltada para os interesses nacionais (FALCONE et al., 2017).

A Carta de Belgrado proferia a utilidade do desenvolvimento de uma nova ética universal, que possibilitasse a eliminação da pobreza, da fome, do analfabetismo, da poluição e da dominação e exploração humana (TANNOUS, GARCIA, 2008). Em 1977, ocorria a Conferência de Tbilisi, o primeiro grande evento internacional acerca da Educação Ambiental (TANNOUS, GARCIA, 2008).

Em agosto de 1987, após 10 anos da Conferência de Tbilisi, foi realizada a Conferência Internacional da UNESCO, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA, na cidade de Moscou, conhecido como o Congresso de Moscou, onde se apreciou os sucessos e problemas no campo de EA (FALCONE et al., 2017). Já em 1992, no Brasil, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, ocorreu o encontro para formulação do plano de ação da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento para o século XXI, a qual ficou conhecida como Rio 92.

Diante do exposto, percebe-se que as pessoas estão mais preocupadas com os problemas ambientais, e passaram a entender que uma das formas para tentar solucionar tais problemas, é investir na EA, a qual precisa ser abordada de modo interdisciplinar nas diversas áreas (CUBA, 2010). Sendo assim, o conceito de lixo pode ser desenvolvido como promoção de EA e interdisciplinaridade, seja no ambiente escolar ou fora dele, através da abordagem de conceitos e atividades relacionadas à coleta seletiva e conscientização social, por exemplo, uma vez que, a dimensão ambiental configura-se crescentemente como uma questão que envolve um conjunto de atores do universo educativo, potencializando o engajamento dos diversos sistemas de conhecimento, a capacitação de profissionais e a comunidade universitária numa perspectiva interdisciplinar (JACOBI, 2003).

A interdisciplinaridade na EA promove não só dispersão de valores, mas de formação de indivíduos ativamente responsáveis por seu crescimento intelectual, profissional e pessoal. Segundo, Conrado e Silva (2017), ligar a EA à Interdisciplinaridade é confiar que será possível formar cidadãos que serão capazes de refletir sobre a heterogênea sociedade em que vivem, sem indiferença ao sistema econômico e político, tornando-se ativos e críticos nas questões ambientais, sociais, culturais, entre outros.

Morgenstern e Francischett (2007, p. 03), afirmam que a escola pode contribuir para o desenvolvimento da interdisciplinaridade ambiental, pois para eles:

A educação ambiental constitui uma área de conhecimento eminentemente interdisciplinar, em razão dos diversos fatores interligados e necessários ao diagnóstico e à intervenção que pressupõe. Historicamente, ela vem se impondo às preocupações de vários setores sociais como um campo conceitual, político e ético.

No entanto, essa área ainda se encontra em fase de construção, o que acarreta diversas confusões conceituais, consequência esperada em um campo teórico recente. Ter a educação ambiental como objeto de reflexão, motivo para a participação em ações em diferentes instâncias sociais, exige a garantia de alguns pressupostos que vêm se concretizando ao longo e por meio de etapas não somente coletivas, como também individuais (MORGENSTERN, FRANCISCHETT, 2007, p. 03).

Conforme Morgenstern e Francischett (2007), a EA deve levar em consideração o meio ambiente em sua universalidade, deve ser constante, atingir todas as faixas etárias, ocorrer dentro e fora da escola e, examinar as questões ambientais locais, nacionais e internacionais, sob um enfoque interdisciplinar. Estes princípios devem orientar nossas ações. Assim sendo, trabalhar o lixo como tema interdisciplinar, é procurar integrar a realidade do aluno aos valores educacionais, abranger as atitudes e contribuir para a realização de metas desenvolvidas na educação ambiental.

METODOLOGIA

A metodologia adotada nessa pesquisa teve como caráter qualitativo, do tipo revisão de literatura, no qual é apresentado um estudo com base em alguns trabalhos relacionados à proposta da Educação Ambiental e lixo como tema interdisciplinar (GIL, 2002).

Para a realização dos estudos, foram utilizados o Google acadêmico; Revista Brasileira de Meio Ambiente e Scielo, como ferramenta de pesquisa para a obtenção dos trabalhos. Essas fontes de pesquisa foram escolhidas por serem bastante utilizadas por estudantes acadêmicos e por obter bastante resultados de trabalhos.

Foi definida como busca bibliográfica a “Educação ambiental do lixo” e “Importância da Educação Ambiental como tema interdisciplinar”. Após a leitura, foram selecionadas algumas etapas para análise dos trabalhos para a realização do levantamento bibliográfico. As etapas analisadas nos artigos e documentos oficiais foram: temas abordados, como foram realizados, objetivo, os conceitos investigados e como foi realizada a investigação, atividades envolvidas e os resultados obtidos.

A partir disso, foram lidos vinte quatro artigos para análise, e sete foram escolhidos para obtenção de ênfase no assunto, os demais tiveram sua relevância, contudo, não estão inclusos no quadro a seguir pelo fato de não produzirem uma conceituação mais profunda.

DISCUSSÃO E RESULTADOS

A partir dos resultados encontrados nos artigos sobre a temática da educação ambiental, proporcionou a interação contínua entre os envolvidos, a escola e a interdisciplinaridade, sendo

um grupo de conceitos que trabalham para que os principais tópicos sejam levados a serem praticados com comprometimento ético e social.

O estudo indica a importância da inserção da educação ambiental no ambiente escolar, como também no enfoque do tema do lixo, pois sabemos que a produção de resíduos sólidos no mundo é contínua e desenfreada. Trazer para a escola essa temática é proporcionar a cada parte envolvida o conhecimento que a cada dia produzimos toneladas de lixo, sem ter noção para onde estão indo e como são descartados. A interdisciplinaridade contribui para o estudo e dispersão do assunto, pois estudando o conteúdo em todas as matérias, reforça o conhecimento entre os alunos, sendo uma prática bastante inovadora para o público.

Muitos autores relatam que a educação ambiental deve ser contínua e participativa, envolvendo a comunidade como um todo. Tannous e Garcia (2008), explicam que: “As dificuldades relativas ao meio ambiente não podem ser separadas da nossa vida diária e nem tão pouco dos seus condicionamentos históricos”. É de extrema importância conhecermos a história da educação ambiental no mundo, pois ela abre horizontes e proporciona ao ser participativo, total interação com o meio em que vive. Inserir o estudo da interdisciplinaridade e do lixo para pessoas possibilita a formação de cidadãos éticos e responsáveis. O quadro representa os artigos que englobam esses assuntos (Tabela 1).

Tabela 1: Artigos selecionados sobre a temática da Educação Ambiental.

| Nº DO ARTIGO | TÍTULO/ANO | AUTORES |
|--------------|--|--|
| 01 | Histórico e evolução da educação ambiental, através dos tratados internacionais sobre o meio ambiente/2008 | Simone Tannous/ Anice Garcia |
| 02 | Educação ambiental e gestão participativa de unidades de conservação: elementos para se pensar a sustentabilidade democrática/2008 | Carlos Frederico Bernardo Loureiro/Cláudia Conceição Cunha |
| 03 | Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco – um estudo de caso/2007 | Liliane Gadelha da Costa Soares, Alexandra Amorim Salgueiro, Maria Helena Paranhos Gazineu |
| 04 | Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano/2008 | Carlos Alberto Mucelin/ Marta Bellini |
| 05 | Educação ambiental escolar, formação humana e formação de professores: articulações necessárias/2014 | Marília Freitas de Campos Tozoni-Reis/Luciana Maria Lunardi Campos |
| 06 | Interdisciplinaridade e educação ambiental: Integrando Seus princípios necessários/2005 | Audrey de Souza Coimbra |
| 07 | Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999 | BRASIL, 1999 |

Fonte: os autores, 2022.

Segundo Loureiro e Cunha (2008), a Educação Ambiental não é um campo homogêneo e que reflete a diversidade das concepções teóricas que fundamentam os também diversos

educadores e educadoras ambientais, esclarecem que se referem à educação ambiental em uma abordagem crítica e construtiva. Essa colocação dos autores, proporciona um entendimento sobre educação ambiental participativo e coletivo, onde professores e comunidade escolar participem ativamente da sua construção.

O campo de estudo da Educação Ambiental é muito extenso, e várias são as áreas que podem ser trabalhadas nas escolas. Nas áreas das Ciências da Natureza, pode-se abordar o conceito do lixo, e seus possíveis benefícios reutilizando os materiais descartados na escola, trabalhar o lixo como geração de renda a partir da reciclagem e verificar a produção do Biogás a partir dos aterros sanitários. Em Matemática e suas Tecnologias, pode-se trabalhar a estatística em análise da produção do lixo por pessoa, do mesmo modo, trabalhar com as unidades de medidas para verificar a composição dos resíduos sólidos depositados na coleta seletiva, análises e obtenções de resultados sobre a geração e acumulação do lixo semestralmente assim como anualmente; e nas Ciências Humanas, pode ser trabalhado o tema do lixo como EA como modo de investigação social entre os envolvidos na prática do descarte, produção de lixo por região do país, impactos causados a biosfera pelo acúmulo do lixo, conscientização da população acerca da política dos 5 rs.

De acordo com (SOARES, SALGUEIRO, GAZINEU, 2007), um dos maiores problemas do meio ambiente é a produção e descarte incorreto do lixo. Por ano são produzidos milhões de toneladas de lixo, contendo vários materiais recicláveis como: vidros, papéis, latas, dentre outros. Reaproveitando os resíduos antes de serem descartados, o acúmulo dos mesmos no meio ambiente diminui, e com isso a poluição ambiental é minimizada, melhorando a qualidade de vida da população. Considerando que parte dos resíduos gerados pelas atividades humanas ainda possui valor comercial, se manejado de maneira adequada, deve-se adotar uma nova postura e começar a ver o lixo como uma matéria-prima potencial. Sendo assim, considerando a complexidade das atividades humanas, pode-se verificar que resíduos de uma atividade podem ser utilizados para outra, e assim sucessivamente.

Mediante exemplificações, Soares, et.al. (2007) considera que a população não se preocupa em descartar o lixo corretamente, e mostra que a educação ambiental tem por finalidade apresentar os três princípios básicos para a conscientização do descarte dos resíduos sendo: reduzir, reutilizar e reciclar (conceito dos três Rs). A partir desses princípios, o cidadão deve aprender a reduzir o lixo gerado, reutilizar sempre que possível os materiais antes de descartá-los e, só por último, pensar na reciclagem dos materiais.

Entender como age a Educação Ambiental na vida das pessoas, é compartilhar conhecimento mútuo e progressista, onde o principal representante é o ser humano e suas modificações. O homem na maioria das vezes é o responsável pelos prejuízos causados ao ambiente, no qual ele está inserido. O lançamento de resíduos industriais e/ou domésticos indiscriminadamente nos cursos d'água, como forma de destino final, pode causar assoreamento, aumento da turbidez e variação do gradiente de temperatura, causando a quebra do ciclo vital das espécies. Quando despejos industriais com temperatura elevada são lançados na água, a sobrevivência de algumas espécies da fauna e da flora aquáticas pode ser comprometida, visto que essas espécies só podem existir dentro de um gradiente relativamente pequeno de temperatura (SOARES, SALGUEIRO, GAZINEU, 2007).

Mucelin e Bellini (2008), relatam que a alta taxa de liberação de restos sólidos no ambiente é provocada pelo acentuado consumo de bens materiais, sendo responsáveis pelas alterações sofridas no ecossistema. O morador urbano, independentemente de classe social, anseia viver em um ambiente saudável que apresente as melhores condições para vida, ou seja, que favoreça a qualidade de vida: ar puro, desprovido de poluição, água pura em abundância entre outras características tidas como essenciais. Entretanto, observar um ambiente urbano implica em perceber que o uso, as crenças e hábitos do morador cidadão têm promovido alterações ambientais e impactos significativos no ecossistema urbano. Daí se extrai a importância do estudo da Educação Ambiental, em todos os setores que procuram trabalhar a conscientização populacional, possibilitando aos envolvidos, interações constantes com o meio e seus cuidados.

A Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, foi elaborada com o intuito de trazer para a população, o conhecimento sobre a política da Educação Ambiental e suas performances, logo no seu primeiro artigo esclarece: Entendem-se por Educação Ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (Brasil, 1999).

Para a escola, essa lei é aplicada a todos os envolvidos, independente de série, trabalhar educação ambiental é importante para qualquer pessoa. O artigo 2 da referida lei, estabelece: a Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal (BRASIL, 1999).

Com todas essas deliberações, ainda são encontrados vários impasses em inserir a EA no ambiente escolar, pois esclarece que ela não deve ser conservacionista, ou seja, aquela cujos ensinamentos conduzem ao uso racional dos recursos Naturais e à manutenção de um nível ótimo de produtividade dos ecossistemas naturais ou gerenciados pelo homem, mas aquela educação voltada para o meio ambiente que implica uma profunda mudança de valores, em uma nova visão de mundo, o que ultrapassa bastante o estado conservacionista (CUBA,2010).

Para que a EA seja inserida no contexto educacional do aluno, a mesma deve procurar se encaixar nos espaços dos currículos escolares, e mediada por um saber sistematizado, pois muitos são os questionamentos acerca da sua inserção por aqueles que se orientam por paradigmas mais complexos (CAMPOS, TOZONI-REIS, 2014). Isso nos mostra que a escola, para exercer sua função transformadora, no sentido de contribuir para a democratização da sociedade, não pode abrir mão de sua responsabilidade específica que é garantir que os sujeitos sociais se apropriem de forma crítica e reflexiva desse saber (CAMPOS, TOZONI-REIS, 2014).

Por isso pensar em interdisciplinaridade e lixo como trabalho escolar, é constituir a interação com toda equipe educacional, articulando e desenvolvendo a percepção do trabalho da EA. O professor é visto como ser ativamente participativo e incentivador, é nesse momento que ele procura manifestar em seus alunos, a responsabilidade de conexão com todos os temas e disciplinas. Mas nem sempre a interdisciplinaridade é reconhecida pelos envolvidos, pela principal razão: se tratar de novas acepções cuja significação nem sempre é a mesma, e cujo papel nem sempre é compreendido da mesma forma (COIMBRA, 2005).

Dentre as discussões levantadas sobre a importância da inserção da interdisciplinaridade, do conhecimento da geração do lixo e as abordagens sobre a EA, o professor, a escola, e toda comunidade, poderiam transformar a aula mais visionária à realidade contextualizada do aluno, trazendo até o meio educacional a percepção do que seria trabalhar o conceito do lixo na escola, e conhecer o seu destino, a sua ocorrência e como inserir de maneira interdisciplinar. É neste contexto que a disciplina de Ciências, assim como as que estão inseridas com efeito interdisciplinar, podem auxiliar para a formação de sujeitos críticos, capazes de refletir sobre seus direitos e deveres em relação ao ambiente em que vivem, levando a uma contextualização do conteúdo, facilitando à absorção de conceitos técnicos e relevantes para o seu cotidiano (TREMBULAK, PINHO,2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem feita sobre o lixo como tema interdisciplinar usando como referência a Educação Ambiental proporcionou entender como a mesma é abordada em sala de aula e quais as práticas usadas pelos docentes em inserir cotidianamente a seus alunos a importância de entender o que é ser ambiental no mundo tão consumista.

Visto que o professor mais que ninguém é dotado de conhecimento, e é nele que seus discentes irão se espelhar. Trazer para a turma a visão de construir a educação ambiental, é articular o indivíduo a sua realidade cotidiana. Baseando-se nisso, o docente ao inserir os temas de conceitos sobre a temática geral do meio ambiente, a exemplo do reaproveitamento dos resíduos orgânicos na confecção de hortas que atendam a comunidade, estará levando o ensino da EA, aos participantes, com a perspectiva de trabalhar a conscientização de um tema transversal tão relevante para a sociedade e assim promover o conhecimento sobre práticas ambientais que acarretem a participação direta da população.

Vale lembrar que a Educação ambiental não se realiza sozinha, na medida em que deve haver uma parceria contínua e estimulante, e pensando por esse lado, foi notado que a melhor maneira de inseri-la no cotidiano permanente do discente é elaborar práticas da interdisciplinaridade, estimuladas por toda comunidade acadêmica ao inserir aulas mais voltadas ao contexto dos seus alunos e suas práticas diante da produção e descarte, reutilização e forma de transformar o lixo em fator de benefícios para a comunidade em geral.

Portanto, a partir do estudo realizado, foi compreendido que o tema do lixo como interdisciplinar, usando como referência a Educação Ambiental, promovem a consciência dos envolvidos e a aplicação de uma educação voltada para o bem-estar de todos.

REFERÊNCIAS:

ALMEIDA, P. S. **Armazenamento de lixo urbano em Lixões e Aterros Sanitários: Contaminação do solo, proliferação de macro e micro vetores e contaminação do lençol freático.** USP, 2009.

BADR, E.; THOMAS, C.; FALCONE, C. L.; FALCÃO, E. T.; BADR E.; FARIAS, G. A.; SAMPAIO, J. M. S.; CÂMARA, L. M. A. R.; SOUZA, M. A. F.; MOURA, T. C. B. F.; ALMEIDA, T. Á. P.; QUEIROZ, Y. V. S. **Educação Ambiental, conceitos, histórico, concepções e comentários à lei da Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/99):** Programa de Pós-Graduação em Direito Ambiental da UEA: mestrado em Direito Ambiental / Org. Eid Badr. Vários autores – Manaus: Editora Valer, 2017.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev,1986.

BRASIL. **Política Nacional de Educação Ambiental - PNEA.**Lei nº9.795 de 27 de abril de 1999.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: meio ambiente, saúde.** – Brasília: 128p,1997.

BRASIL.**Política Nacional de Resíduos Sólidos.**Lei 12.305. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../lei/112305.htm>. Acesso em: 11 nov. 2019.

CASTRO, M. A. **A reciclagem no contexto escolar.**2008. Disponível em :< <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/448-4.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

COIMBRA, A. S. Interdisciplinaridade e educação ambiental: Integrando seus princípios necessários. **REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 14, p. 115-121,2005.

CONRADO, L. M. N.; SILVA, V. H. Educação ambiental e interdisciplinaridade: Um diálogo conceitual.**Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental.**Florianópolis, v. 6, n. 3, p. 651-665, out. /dez,2017.

CUBA, M. A. Educação Ambiental nas Escolas. **Revista Ecomm**, v. 1, n. 2, p. 23-31,2010.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA. G. H. R. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. **Engenharia Sanitaria e Ambiental.** v.20, n.4, p. 685-698,2015.

EIGENHEER, E. M. **A história do lixo** – a limpeza urbana através dos tempos. Porto Alegre: Pallotti,2009.

ELK, A. G. H. P. V.**Redução de emissões na disposição final.** Coordenação de Karin Segala – Rio de Janeiro: IBAM,2007.

FAZENDA, I. **O Que é interdisciplinaridade?**. —São Paulo:Cortez,2008.

FAZENDA, I. C. A. Interdisciplinaridade. Grupo de Estudos e Pesquisa em Interdisciplinaridade (GEPI) – Educação: Currículo – Linha de Pesquisa: Interdisciplinaridade – v. 1, n. 6- especial (abril. 2015) – São Paulo: PUCSP.2015.

FERREIRA, J. E.; PEREIRA, S. G.; BORGES, D. C. S. A Importância da Educação Ambiental no Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Educação e Cultura**, n. 7, p. 104-119,2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

JACOBI, P. Educação Ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n. 118, p. 189-205,2003.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250,2005.

LOUREIRO, C. F. B.; CUNHA, C. C. Educação ambiental e gestão participativa de unidades de conservação: elementos para se pensar a sustentabilidade democrática. **Ambiente & Sociedade**, v.11, n.2, p. 237-253,2008.

MORGENSTERN, L. T. B.; FRANCISCHETT, M. N. (2019). **Educação ambiental: uma proposta interdisciplinar**. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/182-4.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & natureza**, v. 20, n. 1, p. 111-124,2008.

OLIVEIRA, D. K. S.; SOUSA, L. L. A.; OLIVEIRA, J. L. S. Problemas ambientais e a educação ambiental em área urbana no município de Patos, Paraíba. In: V CONEDU Congresso Nacional Educação. **Anais... V CONEDU Congresso Nacional Educação**,2018.

SILVA, S.; FERREIRA, E.; ROESLER, C.; BORELLA, D.; GELATTI, E.; BOELTER, F.; MENDES, P.OS 5 R'S DA SUSTENTABILIDADE: CONCEITOS E EVOLUÇÃO. In: **V Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia & Desenvolvimento**, 9º Mostra de Ensino, 2017, Santa Maria, RS. **Anais 32ª Jornada Acadêmica Integrada**,2017.

SOARES, L. G. C.; SALGUEIRO, A. A.; GAZINEU, M. H. P. Educação ambiental aplicada aos resíduos sólidos na cidade de Olinda, Pernambuco – um estudo de caso. **Revista Ciências & Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 1-9,2017.

TANNOUS, S.; GARCIA, A. G. Histórico e evolução da educação ambiental, através dos tratados internacionais sobre o meio ambiente. **Nucleus**, v.5, n.2, p.183-196,2008.

TREMBULAK, S.; PINHO, A. C. Lixo e consumo: abordagem e contextualização sobre o lixo e consumo na disciplina de Ciências nos anos finais do Ensino Fundamental. **Cadernos PDE**, v. 1, p. 1-14,2013.

TOZONI-REIS, M. F. C.; CAMPOS, L. M. L. Educação ambiental escolar, formação humana e formação de professores: articulações necessárias. **Educar em revista**, p. 145-162,2014.

CAPÍTULO 15

A LOGÍSTICA REVERSA COMO FERRAMENTA DE MARKETING: UM ESTUDO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GESTÃO DE RESÍDUOS NAS ORGANIZAÇÕES

Jainara Dias da Silva

RESUMO

O Sistema de Logística Reversa (SLR) é um dos instrumentos instituídos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que visa uma responsabilidade compartilhada no ciclo de vida dos produtos, no qual promovem o retorno de produtos e embalagens, após seu consumo para reuso, reciclagem ou destinação adequada para cada tipo de produto. O desenvolvimento da responsabilidade estendida juntamente com a realização do fluxo inverso tem conquistado efeitos positivos de âmbito ambiental e econômico para as empresas. O uso do SLR tem mostrado um grande aliado a empresários que pretendem desenvolver seu negócio de forma lucrativa e sustentável. Além do aspecto legal, tem incentivo financeiro e ambiental. Este se refere ao fato que empresas que demonstram cuidado com o meio ambiente são mais atraídas pelos consumidores, ou seja, é uma estratégia de marketing ofertar produtos e serviços de uma imagem verde. A motivação financeira é vinculada ao fator econômico onde na Logística Reversa há possibilidade de recuperação de produtos, ou parte deles, no qual gera a redução de custos. O objetivo deste trabalho é mostrar as vantagens e como é importante a implantação da logística reversa nas empresas.

PALAVRAS-CHAVE: Logística Reversa. Empresas. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Gestão Ambiental

INTRODUÇÃO

Segundo a PNRS, que foi um marco na gestão de resíduos sólidos no país, a logística reversa é definida por: [...] um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. Em seu Art. 33º há a obrigação de estruturação e implementação do SLR por o retorno dos produtos após o uso do consumidor de forma independente do serviço público de limpeza urbana. Os produtos obrigatórios são: pilhas e baterias, embalagens de agrotóxicos, pneus, óleos lubrificantes com resíduos e embalagens, produtos eletroeletrônicos e seus componentes. (BRASIL, 2010).

De acordo com PEÑA (2017), os propósitos principais das empresas aderirem ao processo de logística reversa são: legislação ambiental, razões competitivas no mercado, proteção de margem de lucro, conscientização ambiental dos clientes e grandes benefícios

econômicos. Este trabalho tem como objetivo identificar as vantagens que as empresas têm ao adotar a prática da logística reversa em seus serviços.

REFERENCIAL TEÓRICO

Em fevereiro de 2020, foi publicado o Decreto Federal 10.240, no qual estabelece normas para a implantação do sistema de Logística Reversa em produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. O decreto estabelece obrigações para fabricantes, comerciantes, importadores e estabelece regras para operacionalização, participação de catadores e cooperativas e também financiamento.

Neste processo de logística reversa é necessário um determinado conhecimento organizacional no intuito de ser implantada por meio de acordos setoriais entre os poderes públicos e as empresas (MARCHI, 2011). Dentre inúmeros princípios que norteiam a PNRS, se encontra a responsabilidade compartilhada (Art. 6º, Inciso VII), que é definida como conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados (Art. 3º, Inciso XVII).

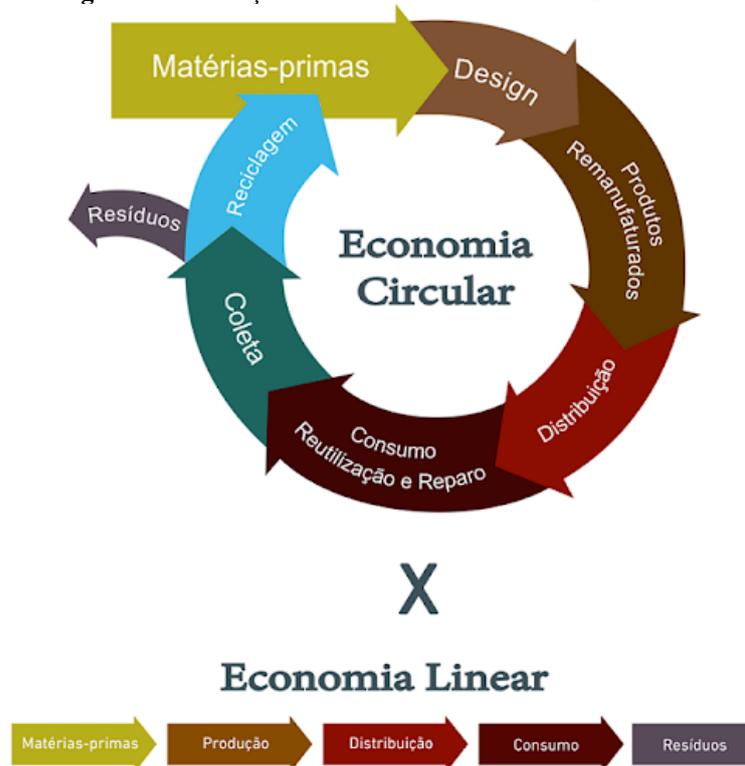
De acordo com Guimarães (2016), a responsabilidade compartilhada vem com o desafio de programar a responsabilidade de cada setor sobre a gestão dos resíduos sólidos, de modo a assegurar a coleta e destinação correta de resíduo pós-consumo. Diversos setores devem atuar nesse cenário o governo, empresas, cooperativas, catadores de materiais recicláveis, consumidores e distribuidores todos estes devem estabelecer parcerias e desenvolver o acordo setorial, seguindo assim o que determina a PNRS.

Anteriormente à Lei 12.305 de 2010 já se via no Brasil a necessidade do recolhimento de embalagens após uso dos consumidores. Algumas resoluções da CONAMA determinavam empresas realizarem esse processo. Tinha-se com embalagem de agrotóxicos (resolução nº 334/2003); pneus inservíveis (resolução nº 416/2009); pilhas e baterias (resoluções nº 401/2008 e nº 424).

Juntamente com a logística reversa, vem a economia circular, que diferente da economia linear (que é a mais usada atualmente) vem demonstrando uma forma de amenizar o impacto do homem sobre o meio ambiente, visto que alta produção traz um grande desequilíbrio no meio. A Economia Circular surgiu na Europa, na década de 70 com a proposta do desenvolvimento da prática da reciclagem e reutilização que irão envolver ações que visam o

aumento de vida de produtos e materiais considerando o compartilhamento, a manutenção e a reutilização. Tem se mostrado um modelo econômico de muitas oportunidades e melhor utilização de recursos naturais, como mostra a figura 1.

Figura 1: Diferença entre a Economia Circular e Linear.



Fonte: Lazzarotto, 2018.

METODOLOGIA

Com relação à abordagem esse estudo tem característica qualitativa, pois obteve alguns dados da situação estudada, foram feitas interpretações e análises. Quanto aos meios de investigação é uma pesquisa bibliográfica e descritiva. Segundo Rudio (1983) a pesquisa descritiva expõe situações sem mediação do pesquisador.

Pesquisa de caráter exploratória por estar em fase preliminar e ter maior familiaridade com o problema. Foi feito também uma revisão bibliográfica através de artigos científicos, teses e dissertações.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2019, 76% das empresas brasileiras inclui em suas atividades alguma iniciativa de economia circular, e em muitos casos não têm consciência que praticam. Eles têm a prática de aperfeiçoarem os processos, uso de insumos circulares e recuperação de recursos, tais como: reuso de água, reciclagem de materiais

e logística reversa, estas ações contribuem para o desenvolvimento da economia do país no lançamento do carbono no meio ambiente.

Neste processo existe também o acordo setorial, que é definido pelo PNRS como um contrato feito entre empresas, governo, catadores e a sociedade para a implantação da responsabilidade compartilhada no ciclo de vida do produto. O Acordo Setorial para embalagens em geral foi assinado em 2015 e tem como objetivo garantir o melhor destino para o fim do produto.

Há diferentes tipos de Logística Reversa, o pós-consumo e o pós-venda. No pós-consumo a embalagem descartável será revalorizada ou reciclada, eles contam com uma estrutura já definida para o retorno ao setor produtivo. Já o pós-venda está relacionada com produtos que não atenderam as expectativas dos consumidores. Para Sávio *et al* (2011), o pós-venda do ponto de vista estratégico tem como intuito de agregar valor ao produto.

O Brasil é considerado um país com legislação ambiental mais completa e rígida comparadas a outros países e que possui fortes movimentos ambientalistas, porém infelizmente esses regulamentos nem sempre são seguidos, por muitas questões, falta de servidores para fiscalizar, ausência de recursos das instituições responsáveis e falta de capacitação (SANTOS, 2012).

A promoção de estudos das empresas junto à fiscalização do governo geraria impactos positivos em todas essas organizações envolvidas. Ainda mais se os consumidores fossem também envolvidos nesses projetos. Pois a logística reversa provoca vantagem competitiva, menor custo, pois vai reutilizando materiais que seriam descartados, conquista maior notoriedade perante a sociedade e trabalha também com a dimensão ambiental ao se interessar minimizar os impactos gerados pelas atividades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São visto vários fatores positivos que proporcionam uma boa visibilidade para a empresa diante do mercado. No lado administrativo da empresa são vistos impactos positivos em relação à economia de matéria prima e conseqüentemente na produção de novas embalagens. Já no lado ambiental, tem a diminuição de resíduos e de utilização de recursos naturais.

É notório também os benefícios para a sociedade, as mudanças econômicas, na formação de preços dos produtos, distribuição de responsabilidade em diversos setores da sociedade, governo, empresas e consumidores. A logística no sentido de diminuir o impacto

ambiental proporciona novas formas de pensar, agir, consumir, produzir no meio ambiente, tanto para os consumidores como também para as indústrias.

A prática da sustentabilidade tem se mostrado ainda muito frágil tanto na sociedade como nas empresas. A implantação da Logística Reversa não é uma tarefa simples, é um processo bastante complexo no qual depende de vários setores da sociedade. Porém, assim como desenvolvimento de pesquisas e inovações, projetos de redução de impactos ambientais, a LR é uma ferramenta que vem auxiliando na economia e também no desenvolvimento sustentável.

Com a força da legislação sendo aplicada, juntamente com a conscientização ecológica de empresas, poder público e consumidores, a implantação da logística reversa será implantada de forma mais rápida e menos complexa. Se a organização mostra preocupação com o meio ambiente, com a imagem corporativa perante a sociedade e buscando o fortalecimento da marca ela sempre atuará de forma a manter a LR uma prática saudável e constante.

Outras formas também de se destacar na busca da prática e reconhecimento com a economia circular e logística reversa é a criação de parcerias entre diversas instituições para a instalação de redes, geração de empregos na área da coleta, investimento em tecnologias de inovação e melhorias da educação da sociedade. Todas estas ações facilitarão o trabalho e acarreta vantagens competitivas entre as organizações participantes e também vantagens econômicas.

REFERÊNCIAS:

AZEVEDO, Juliana Laboissière. A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: **Anais... Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015.

BOCCHINI, Bruno. No Brasil 76% das indústrias aplicam a economia circular. **Agência Brasil**. São Paulo, 24 de set. de 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-09/no-brasil-76-das-industrias-aplicam-economia-circular-diz-pesquisa>>

BRASIL. Decreto N° 7.404, de 23 de Dezembro de 2010. Regulamenta a Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>

BRASIL. Decreto N° 10.240 de 12 de Fevereiro de 2020. Regulamenta a implementação de Logística Reversa aos produtos eletroeletrônicos e aos seus componentes de uso doméstico.

Diário Oficial da União. Disponível em: < <http://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.240-de-12-de-fevereiro-de-2020-243058096>>

BRASIL. Lei nº 12.305 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#art3iv>

CAMARGO, Fábio Gaglian. **Desenvolvimento de método de seleção de fornecedores de logística reversa para uma empresa de cosméticos**. 2007. Tese de Doutorado. EPUSP

COUTO, Maria Claudia Lima; LANGE, Liséte Celina. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 889-898, 2017.

DEMAJOROVIC, Jacques; MASSOTE, Bruno. Acordo setorial de embalagem: Avaliação à luz da responsabilidade estendida do produtor. **Revista de Administração de Empresas**, v. 57, n. 5, p. 470-482, 2017.

GUIMARÃES, K. O., Ribeiro, F.M., 2016. **Logística Reversa de Embalagens em Geral: avaliação do acordo setorial a partir das recomendações internacionais**. In: XVIII ENGEMA São Paulo: FEA-USP. Disponível em: http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/resumo.php?cod_trabalho=192.

LAZZAROTO, Aline. Economia Circular: A urgência de uma nova economia. Autossustentável. 09 de abr. de 2018. Disponível em: <<http://autossustentavel.com/2018/04/economia-circular-uma-nova-economia.html>>

Logística Reversa no Setor de Cosméticos. VG Resíduos. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/cinco-bons-exemplos-de-logistica-reversa-do-setor-de-cosmeticos/>>

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

O que é a Economia Circular? **Ecycle®**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/2853-economia-circular.html>>

PEÑA, Bárbara Karyna et al. LOGÍSTICA REVERSA DA EMPRESA NATURA COSMÉTICOS SA.

Portal da Indústria. **Economia Circular**. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/industria-sustentavel/temas-de-atuacao/economia-circular/>>

RIBEIRO, Flávio de Miranda; KRUGLIANSKAS, Isak. Implementação da Logística Reversa: a primeira fase da experiência do Estado de São Paulo. In: **5th International Workshop: Advances in Cleaner Production. Anais [...] São Paulo**. 2015.

SÁVIO, L.; KAMIMURA, Q. P.; SILVA, J. L. G. **A importância da logística reversa no pós-venda e pós-consumo**. XV INIC/XI EPG-UNIVAP 2011. 2011.

TOUN, Lígia. Economia Circular: Empresas praticam por sobrevivência e nem sabem. **Exame**, São Paulo, 24 de set. de 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/economia-circular-empresas-praticam-por-sobrevivencia-e-nem-sabem/>>.

CAPÍTULO 16

OBTENÇÃO SUSTENTÁVEL DO BIODIESEL VIA ROTA ENZIMÁTICA

Jefferson Cleriston Barros dos Santos
Lorena Armando da Silveira
Izabela Ferreira de Morais
Gabriella Souza Cardoso
Pamela Cunha Bortoluzzi
Paulo Sérgio Sobral Júnior
César de Almeida Rodrigues
Cintia Cristina da Costa Freire

RESUMO

Nos últimos anos, a aplicação de diversas matrizes oleaginosas tem se tornado uma nova tendência dentre as matérias primas de fontes renováveis aplicadas para obtenção de biodiesel, buscando meios para atender a demanda crescente para a incorporação deste biocombustível ao diesel, como projetado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). No Brasil, depois de já estabelecida as condições legais para a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, a maior parte da produção do biocombustível ainda tem como matéria prima o óleo de soja, seguido do sebo bovino. Para a abertura de caminhos consolidados para o crescimento do setor, também se faz necessário o estudo de métodos viáveis técnica e economicamente de síntese desses biocombustíveis, dando destaque para a escolha da reação de biotransformação destes óleos e a rota catalítica empregada. As reações de esterificação, hidroesterificação e transesterificação são as rotas mais conhecidas para a síntese do biodiesel, sendo que destas, a transesterificação tem sido a mais utilizada por ter um processo mais simples, de baixo custo e menores tempos reacionais. Atualmente, estas reações de síntese são majoritariamente catalisadas por reagentes químicos, entretanto, fatores como a geração de subprodutos indesejados no processo devido à rota catalítica empregada tem incentivado a busca por alternativas mais eficazes e ambientalmente amigáveis. O uso de catalisadores biológicos, que consiste no uso de enzimas - em especial as lipases - para catalisar a reação, tem apresentado grande potencial de aplicação a partir de estudos que constataram condições mais brandas de operação, baixa toxicidade, alta seletividade, diminuição na geração de subprodutos e bom desempenho operacional. Além disso, a imobilização destes biocatalisadores pode potencializar seu desempenho e permitir sua aplicação em diversos ciclos de reuso de forma a reduzir custos, características que, quando combinadas, tornam as lipases uma alternativa ambientalmente viável aos catalisadores químicos convencionais. Deste modo, este capítulo tem como enfoque uma revisão de literatura acerca da ampla possibilidade de aplicação de enzimas para obtenção de biodiesel de forma sustentável, ressaltando as vantagens do uso da rota enzimática comparada à rota química convencional e o que o mercado atual apresenta de perspectiva para o consumo do biocombustível como forma de energia renovável.

PALAVRAS-CHAVE: Catálise enzimática, lipases, biodiesel, sustentabilidade, fonte energética renovável.

INTRODUÇÃO

Na atualidade cerca de três quartos da demanda energética mundial é suprida pelo uso de combustíveis fósseis, que, acabam tornando-se grandes responsáveis pela geração de severos impactos ambientais provocados pela emissão de gases poluentes e sua difícil degradação (MELO, POPPE, 2010). O aumento contínuo do consumo energético mundial, atrelado a boa eficiência desses combustíveis, fizeram com que mesmo sendo recursos não renováveis, em sua maioria provenientes de derivados do petróleo, tivessem uma alta demanda de aplicações, provocando sua popularização pois é um elemento de influência nas relações geopolíticas contemporâneas desde quando se tornou a matriz energética básica da sociedade industrial e fundamental para o funcionamento da economia moderna (FERNANDES *et al.*, 2018).

Entretanto, na atualidade, muito se discute a respeito do desenvolvimento de alternativas sustentáveis, utilizando-se de matérias primas renováveis para serem aplicadas na substituição dos combustíveis convencionais proporcionando boa eficiência energética e sustentabilidade. Considerando-se o petróleo um recurso natural não-renovável, o biodiesel é uma alternativa energética, por ser um combustível renovável e biodegradável, podendo substituir o diesel mineral sem necessidade de nenhuma modificação nos motores já existentes (OLIVEIRA *et al.*, 2012). De modo geral, o biodiesel é um biocombustível oriundo da biomassa ambientalmente correta, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação do triglicerídeo derivado de gordura animal ou vegetal com um álcool de cadeia curta (QUESSADA, 2007).

Estima-se que para a produção de biodiesel utilizando óleo de soja como matéria prima, 88% do custo total da produção é proveniente da fonte de triglicerídeos utilizada (HAAS *et al.*, 2006; DI SERIO *et al.*, 2005). Desta maneira, a busca por novas opções de matérias-primas é bastante promissora, na qual, o uso do óleo vegetal bruto destaca-se por apresentar uma baixa quantidade de ácidos graxos livres quando comparados à matéria-prima de resíduos reciclados, que podem causar a saponificação da reação, fazendo-se necessário o uso de uma maior quantidade de catalisador, encarecendo o processo (CESARINI *et al.*, 2013).

As reações de esterificação, hidroesterificação e transesterificação são as rotas mais conhecidas para a síntese do biodiesel, sendo que destas, a transesterificação tem sido a mais utilizada por ter um processo mais simples, de baixo custo e menores tempos reacionais, porém, essa requer rigor com as características das matérias primas, sobretudo se o objetivo for comercializar um biodiesel que efetivamente atenda às exigências legais do país e do mercado

internacional (DANTAS *et al.*, 2006). As condições reacionais de uma conversão de biodiesel abaixo de 98% indicam a presença de impurezas no produto, como monoglicerídeos (MG), diglicerídeos (DG), triglicerídeos não convertidos, ácidos graxos livres e glicerol (WAWRZYNIAK *et al.*, 2005; MONTEIRO *et al.*, 2008).

O método padrão na indústria para transformar óleo em biodiesel é a transesterificação catalisada por alcalinos. No entanto, alguns problemas foram descritos, como a baixa qualidade do glicerol produzido pela falta de seletividade do catalisador, a necessidade de operações de alto custo para recuperação e purificação do biodiesel e a geração de grandes quantidades de efluentes alcalinos poluentes durante a inativação do catalisador (SANDOVAL *et al.*, 2017).

Para superar esses problemas, os catalisadores químicos podem ser substituídos por catalisadores enzimáticos que são altamente seletivos e podem atuar a temperaturas mais baixas e condições de pressão normal. Essas propriedades permitem um menor consumo de energia do que nos processos catalisados por produtos químicos e a formação de produtos em rendimentos mais altos, uma vez que não ocorrem reações secundárias indesejáveis. Além disso, em processos catalisados por lipase, podem ser utilizadas matérias-primas de diferentes origens e de baixa qualidade (por exemplo, teor de ácidos, gorduras livres e água). Na presença de gordura, as lipases podem converter ácidos graxos livres em ésteres por esterificação e por transesterificação (NIELSEN *et al.*, 2008). As principais razões pelas quais as lipases ainda não são amplamente utilizadas na indústria são o elevado custo e conseqüentemente menor produtividade, em comparação com os catalisadores alcalinos. Uma estratégia essencial para reduzir o custo do processo enzimático é a reutilização múltipla do biocatalisador que pode ser conseguido através do uso de enzimas imobilizadas (BAJAJ *et al.*, 2010).

Quando são utilizadas lipases imobilizadas, o fim da reação é facilmente controlado pela remoção do biocatalisador do meio reacional por filtração ou centrifugação e, é observada separação de fase de maneira mais fácil devido à ausência de emulsificação. Além disso, são necessárias menos operações unitárias, ou seja, com uma redução subsequente nos volumes de efluentes gerados, ademais, alguns estudos demonstraram que a atividade enzimática de biocatalisadores imobilizados apresentam melhores resultados (BARBOSA *et al.*, 2016; LISBOA *et al.*, 2017).

Diante desse cenário, esta revisão tem por objetivo destacar a potencialidade para a produção de biodiesel a partir da catálise enzimática. Neste sentido, este capítulo aborda uma revisão de literatura acerca da ampla possibilidade de aplicação de enzimas para obtenção de

biodiesel de forma sustentável, ressaltando as vantagens do uso da rota enzimática comparada a rota química convencional e o que o mercado atual apresenta de perspectiva para o consumo do biocombustível como forma de energia renovável.

BIODIESEL E SUAS POTENCIAIS MATÉRIAS PRIMAS

Processos de biotransformação, como a hidroesterificação e transesterificação têm se destacado significativamente, pois proporcionam a conversão de matérias primas graxas (óleos vegetais ou gordura animal), incorporadas a etanol ou metanol, em ésteres de interesse industrial como o biodiesel (ZENEVICZ *et al.*, 2017). O biodiesel é um combustível biodegradável, produzido a partir de óleos de fontes renováveis e que se tornou foco de estudos ainda em meados de 1890. Em tal período, a partir da aplicação do óleo de amendoim em motor a diesel na Paris Expo, foi possível notar que o calor gerado pela combustão do óleo vegetal puro em motores provou ser semelhante ao diesel derivado do petróleo, o que encorajou pesquisas direcionadas ao estudo dos óleos vegetais puros para produzir um composto mais parecido com petrodiesel (diesel convencional). As incertezas do preço do petróleo bruto, os créditos de impostos de consumo estaduais e diminuição das reservas de combustíveis fósseis, favoreceram os aumentos das misturas de biodiesel de minúsculos 2% para até 30% atualmente em alguns países (KNOTHE, KRAHL, GERPEN, 2010; QUAYSON *et al.*, 2020).

Assim, países ricos em biodiversidade, como o Brasil, apresentam um grande potencial para pesquisas direcionadas à identificação de novas matérias primas para síntese do biocombustível. A literatura ressalta que o Brasil comporta cerca de 70% de todas as espécies de plantas e animais catalogados no mundo, apresentando diversas oleaginosas em potencial, que podem ser utilizadas como fonte óleos aplicáveis a síntese de biocombustíveis e bioprodutos (ALVES *et al.*, 2009). Nos últimos anos, a aplicação de óleos vegetais, provenientes de diversas matrizes oleaginosas, tem se tornado uma nova tendência dentre as matérias primas de fontes renováveis aplicadas para obtenção de compostos nas indústrias químicas, farmacêuticas, de combustíveis e alimentícias (ALMEIDA *et al.*, 2020; BARBOSA *et al.*, 2019; BARBOSA *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2021).

Os óleos vegetais têm baixa toxicidade e são biodegradáveis, características que favorecem suas aplicações para obtenção de biodiesel (KARMAKAR, GHOSH, SHARMA, 2017). Outro ponto de destaque, é que a composição destes óleos é formada por triglicerídeos, cujas propriedades físicas estão diretamente ligadas a distribuição dos ácidos graxos presentes, garantindo seu potencial em reações de biotransformação para geração de bioprodutos como o

biodiesel (CASTRO *et al.*, 2004; LA SALLES *et al.*, 2010; LISBOA *et al.*, 2020). Segundo a literatura, uma série de óleos já são aplicados para síntese do biodiesel, na Tabela 1, pode-se identificar uma série de óleos vegetais em potencial.

Tabela 1: Composições de ácidos graxos (%) de óleos vegetais comumente usados.

| Óleo Vegetal | C12:0 | C14:0 | C16:0 | C18:0 | C16:1 | C18:1 | C18:2 | C18:3 | Outros |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|------------|
| Soja | - | - | 11 - 12 | 3 | 0,2 | 24 | 53 - 55 | 6 - 7 | - |
| Girassol | - | - | 7 | 5 | 0,3 | 20 - 25 | 63 - 68 | 0,2 | - |
| Colza | - | - | 4 - 5 | 1 - 2 | 0,21 | 56 - 64 | 20 - 26 | 8 - 10 | 9,1 (20:1) |
| Palma | - | 1 | 37 - 41 | 3 - 6 | 0,4 | 40 - 45 | 8 - 10 | - | - |
| Farelo de Arroz | - | - | 20 - 22 | 2 - 3 | 0,19 | 42 | 31 | 1,1 | - |
| Caroço de algodão | - | 1 | 22 - 26 | 2 - 5 | 1,4 | 15 - 20 | 49 - 58 | - | - |
| Coco | 44 - 52 | 13 - 19 | 8 - 11 | 1 - 3 | - | 5 - 8 | 0 - 1 | - | - |
| Milho | - | - | 11 - 13 | 2 - 3 | 0,3 | 25 - 31 | 54 - 60 | 1 | - |
| Amendoim | - | - | 10 - 11 | 2 - 3 | 0 | 48 - 50 | 39 - 40 | - | - |
| Neem | - | - | 18 | 18 | - | 45 | 18 - 20 | 0,5 | - |
| Mamona | - | - | 0,5 - 1 | 0,5 - 1 | - | 4 - 5 | 2 - 4 | 0,5 - 1 | 83 - 85 |
| Oliva | - | - | 13,7 | 2,5 | 1,8 | 71 | 10 | 0 - 1,5 | - |

Fonte: Adaptado de Karmakar, Ghosh e Sharma (2017).

Trabalhos como os de Ha *et al.* (2007), Myint e El-Halwagi (2009) e Rahimi *et al.* (2014), demonstram a aplicação de óleo de soja para obtenção de biodiesel. Já os estudos de Almeida *et al.* (2020), Kumar *et al.* (2010) e Tupufia *et al.* (2013), utilizam o óleo de coco para síntese do biocombustível, enquanto La Salles *et al.* (2010), transesterificaram o óleo bruto de Licuri com metanol para sintetizar o biocombustível. Os autores Boulif *et al.* (2010), Dehghan, Golmakani e Hosseini (2019), Kansedo, Lee e Bhatia (2009), Keera, El Sabagh e Taman (2018), reportam o uso de azeite de oliva, óleo de milho, óleo de palma e óleo de mamona para síntese de biodiesel, respectivamente. Ressaltando assim, as mais diversas possibilidades de matérias primas que podem ser aplicadas para obtenção do biocombustível. Entretanto, além da determinação do óleo a ser aplicado no processo, definir a reação de biotransformação a ser utilizada e a rota catalítica para o processo são de suma importância, tendo em vista que influenciam diretamente nos custos de processo, conversão e viabilidade da síntese do biocombustível.

PRINCIPAIS ROTAS ENZIMÁTICAS DE OBTENÇÃO

A rota de síntese (reação química) a ser utilizada para transformação dos óleos (de origem vegetal ou animal) em biodiesel é essencial para o processo. A partir da definição do óleo a ser utilizado, o próximo passo é compreender a respeito das propriedades do óleo vegetal

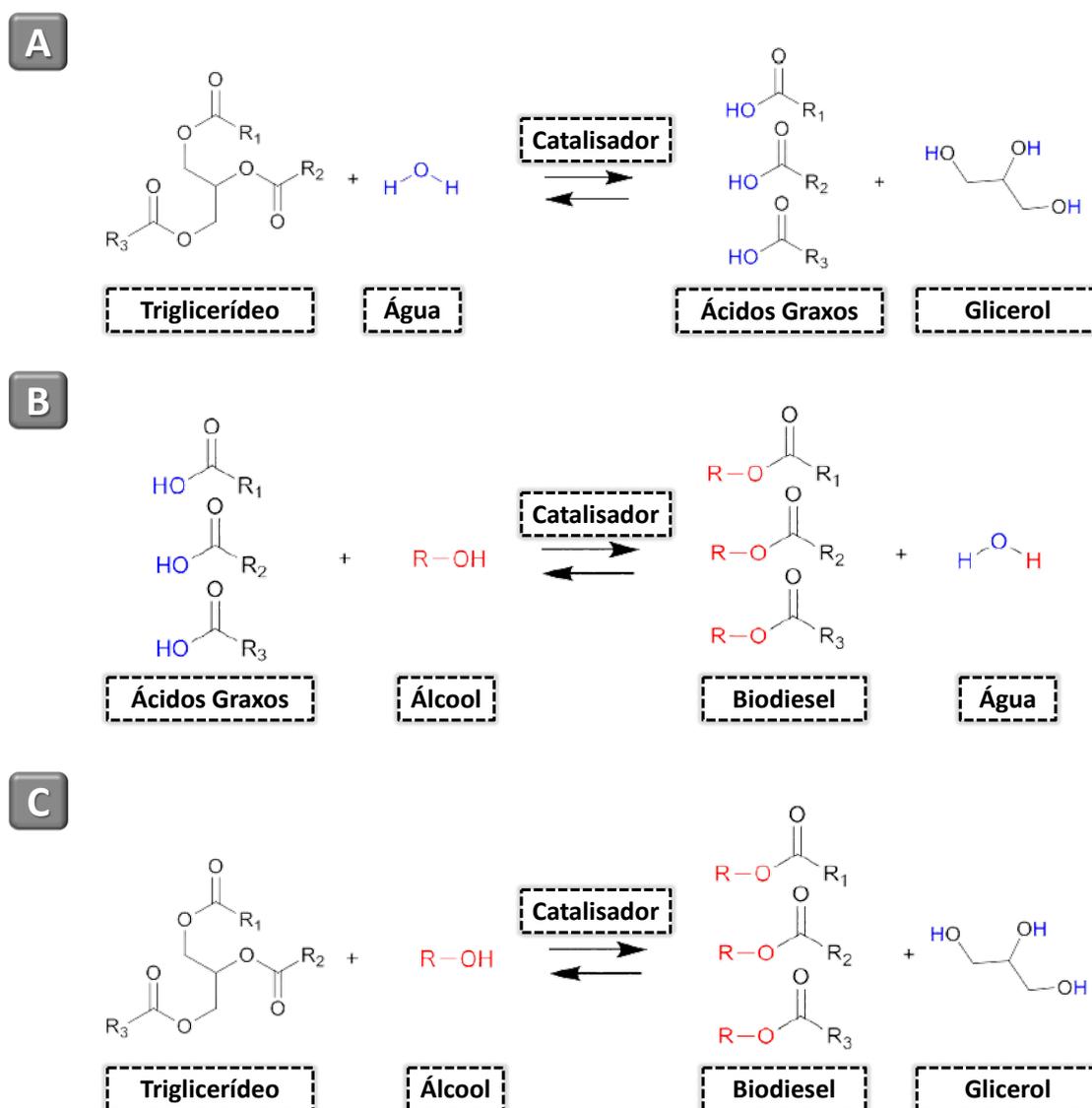
para selecionar a reação mais propícia para sua biotransformação. A produção do biodiesel pode ser realizada por reações como esterificação, hidroesterificação e transesterificação (rota mais utilizada). Podendo estas, serem catalisadas por rota química convencional, utilizando de catalisadores químicos como KOH e NaOH, ou por rota biológica, utilizando-se de enzimas para catálise do processo.

A aplicação da esterificação para síntese de biodiesel é reportada por diversos estudos, como os de Chongkhong *et al.* (2007), Cardoso, Neves e Silva (2008) e Ramadhas, Jayaraj e Muraleedharan (2005). A formação dos ésteres através desta reação se dá por meio da transformação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol), interagindo com ácidos graxos, tendo-se ao fim do processo, ésteres de alto valor agregado e água como subproduto (Figura 1 B) (CARDOSO, 2008).

A hidroesterificação por sua vez, é uma rota nova que vem sendo utilizada na produção de biodiesel (POURZOLFAGHAR *et al.*, 2016). Tal processo consiste em duas etapas, inicialmente a reação de hidrólise (Figura 1 A), a qual ocorre uma reação entre triglicerídeos (óleos vegetais/gordura animal) e água, ocasionando a formação de ácidos graxos livres (AGL) como produto e glicerol como subproduto. A segunda etapa consiste na esterificação dos AGL sintetizados (Figura 1 B) (BOLINA *et al.*, 2018).

Já o processo de transesterificação é a rota mais empregada para produção de biodiesel. Sua popularização se deu em função de ser um processo que apresenta condições reacionais de temperatura e pressão brandas, é realizado em apenas uma etapa, é simples e de baixo custo e tem bons tempos reacionais. Tal processo possibilita uma aplicação direta do óleo, possibilitando sua conversão no biocombustível. A reação consiste na transformação da cadeia do triglicerídeo (óleo vegetal ou gordura animal), a partir da ação de álcool de cadeia curta (metanol ou etanol), produzindo biodiesel e gerando como subproduto o glicerol (Figura 1 C).

Figura 1: Reações de hidrólise (A), esterificação (B) e transesterificação (C).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

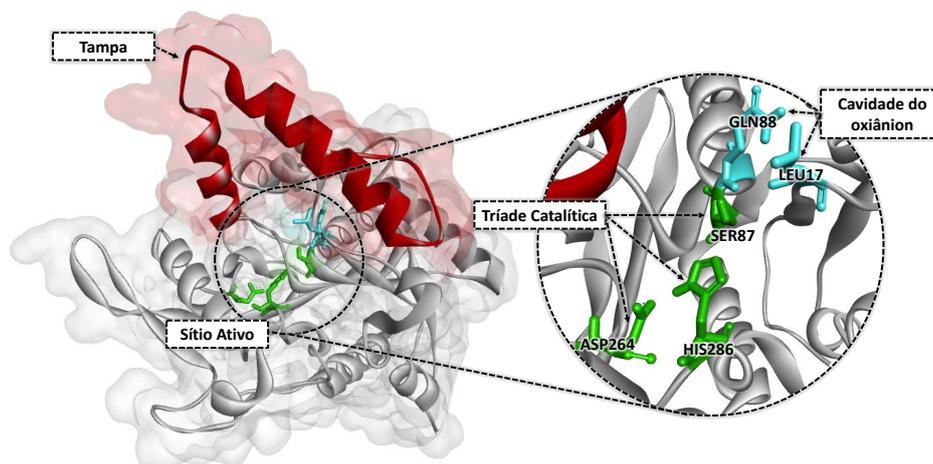
BIOCATALISADORES APLICADOS PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Atualmente, dentre os vários tipos de catalisadores existentes, a rota química é comumente aplicada para catálise do processo de transesterificação para obtenção do biodiesel em função de suas altas taxas de conversão obtidas em baixos tempos de reação, entretanto, o uso de catalisadores químicos provoca a geração de subprodutos, como o sabão, que são indesejados no processo. Porém, o uso de catalisadores enzimáticos, ou biocatalisadores como são conhecidos, tem apresentado grande potencial, em função de suas condições brandas de operação, alta seletividade, diminuição na geração de subprodutos e seus bons desempenhos já descritos pela literatura para catálise de tal processo (Tabela 2). Sendo que quando aplicados

de forma imobilizada, ainda se tem a possibilidade de reutilização do biocatalisador em diversos ciclos de reuso (CASAS *et al.*, 2010; OMONHIMIN *et al.*, 2020; TAN *et al.*, 2010).

As lipases (E.C. 3.1.1.3), são um grupo de enzimas pertencentes à classe das hidrolases, que atuam na catálise de triglicerídeos, podendo ser aplicadas como uma “rota verde” para a produção do biodiesel. Sua atuação se dá na interface orgânica-aquosa demonstrando níveis consideráveis de atividade e estabilidade em ambientes aquosos e não-aquosos (HASAN *et al.*, 2006). Estas enzimas possuem um sítio ativo formado pela tríade catalítica com aminoácidos de serina, histidina e ácido aspártico/glutâmico e pela cavidade do oxiânion, que é formada por resíduos aminoácidos que restringem/permitem o acesso dos substratos à tríade catalítica, contribuindo na enantiosseletividade da lipase. Entretanto, toda essa região da estrutura da proteína é protegida por uma tampa, que em meios hidrofóbicos é deslocada expondo o acesso ao sítio ativo e a cavidade do oxiânion (Figura 2) (CARRIÈRE *et al.*, 1998; CASAS-GODOY, DUQUESNE, BORDES, 2012). Com o acesso livre ao sítio, a interação entre enzima substrato se dá por meio de um fenômeno conhecido como ativação interfacial, a qual a enzima opera na interface do substrato (BARBE *et al.*, 2009; CASAS-GODOY, DUQUESNE, BORDES, 2012; FICKERS, MARTY, NICAUD, 2011; KHAN *et al.*, 2017; MENDES, OLIVEIRA, DE CASTRO, 2012).

Figura 2: Exemplo da estrutura da lipase de *Burkholderia cepacia* (LBC), onde é possível visualizar a tampa na conformação aberta em vermelho, resíduos de aminoácidos da tríade catalítica em verde e resíduos de aminoácidos da cavidade do oxiânion em azul.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Características como seletividade, baixa toxicidade e eficiência na catálise de reações com baixa formação de subprodutos, torna as lipases uma alternativa ambientalmente viável aos catalisadores químicos convencionais, favorecendo assim, sua aplicação para síntese do biodiesel, que tem um meio aquo-restrito em que diversos óleos ou gorduras são transformados

via reação de transesterificação (Tabela 2) (DAMASO, FARINAS, SALUM, 2012; SCHMID *et al.*, 2001).

Tabela 2: Comparação entre a rota enzimática e a rota química convencional para produção de biodiesel.

| Problema chave | Processo enzimático | Processo químico |
|---|--|--|
| Presença de ácido graxo livre no óleo inicial | Os ácidos graxos livres são transformados em biodiesel. | Os ácidos graxos livres são transformados em sabão. |
| Conteúdo de água do óleo de partida | Não é deletério para a lipase. | Impacto no catalisador por formação de sabões. Ele pode hidrolisar o óleo e, por fim, mais sabonetes são formados. |
| Rendimento de biodiesel | Alto, geralmente em torno de 90%. | Alto, geralmente >96%. |
| Recuperação de glicerol | Fácil, glicerol de alto grau. | Complexo, glicerol de baixo grau. |
| Recuperação e reutilização do catalisador | Fácil ou desnecessário ao operar. Reutilização não suficientemente estudada. | Difícil ou não lucrativo, geralmente é neutralizado pela adição de um ácido após a transesterificação. É parcialmente perdido como sabões ou nas sucessivas etapas de lavagem. |
| Custos de energia | Baixo, faixa de temperatura de 20–50 °C. | Médio, faixa de temperatura 60–80 °C. |
| Custo do catalisador | Alto. | Baixo. |
| Impacto ambiental | Baixo, não é necessário tratamento de águas residuais. | Médio, são gerados efluentes alcalinos e salinos. Tratamento de águas residuais necessário. |
| Produtividade do processo | Baixo. | Alto. |

Fonte: Adaptado de Robles-Medina *et al.* (2009).

Entretanto, apesar dos bons desempenhos e da facilidade na aplicação de lipases livres, o uso desses biocatalisadores tem custo elevado, fazendo com que processos de recuperação e reutilização se tornem mais economicamente viáveis. Assim, surge a possibilidade da realização da imobilização enzimática, protocolo que desempenha um papel crucial na determinação da atividade e das características da enzima em uma reação particular. Especificações de processo para o catalisador, atividade enzimática, possibilidade de reuso, eficiência de proteína na utilização, desativação enzimática, características de regeneração, custo de imobilização, toxicidade de reagentes de imobilização, e as propriedades finais desejadas das enzimas imobilizadas são fatores que devem ser considerados para o estudo e

determinação do melhor processo para imobilização da enzima em questão, que pode ser acoplada ao suporte por adsorção física (reversível) ou ligações químicas (irreversíveis), tais como ligação covalente (CHIOU, WU, 2003; SOUZA *et al.*, 2017).

A literatura apresenta uma série de estudos que demonstram a aplicação de lipases livres e imobilizadas com eficiência significativa para obtenção de biodiesel. Alguns desses estudos podem ser identificados na Tabela 3, a qual ressalta o desempenho desses biocatalisadores na catálise da reação de transesterificação de diversos óleos vegetais.

Tabela 3: Comparação das atividades de diferentes lipases na transesterificação de diferentes óleos para síntese de biodiesel.

| Óleo | Álcool | Microrganismo fonte da enzima | Imobilização | Desempenho | Referência |
|------------------|------------|---|-----------------------------|------------|----------------------------------|
| Óleo de Pinhão | Etanol | <i>Chromobacterium viscosum</i> | Celite-545 | 92% | Shah <i>et al.</i> (2004) |
| | | <i>Burkholderia cepacia</i> | - | 79% | Shah e Gupta (2008) |
| | Metanol | <i>Enterobacter aerogenes</i> | Sílica | 94% | Kumari <i>et al.</i> (2009) |
| Sebo | Metanol | <i>Mucor miehei</i> | - | 98,4% | Nelson <i>et al.</i> (1995) |
| | Etanol | | | 98,3% | |
| | Propanol | | | 98,6% | |
| | Butanol | | | 99,6% | |
| | Isobutanol | | | 99,4% | |
| Óleo de Soja | Metanol | <i>Thermomyces lanuginosus</i> | Sílica | > 90% | Du <i>et al.</i> (2005) |
| | Etanol | <i>Mucor miehei</i> | - | 97,4% | Nelson <i>et al.</i> (1995) |
| | Metanol | <i>Pseudomonas fluorescens</i> (cepa psychrophilic B68) | Tecido de celulose | 92% | Luo <i>et al.</i> (2006) |
| | Etanol | <i>Pseudomonas fluorescens</i> | - | 71% | Zhao <i>et al.</i> (2007) |
| | Metanol | | - | 83,8% | Yang <i>et al.</i> (2009) |
| | Metanol | <i>Rhizomucor miehei</i> (Lipozyme IM-77) | Resina aniônica macroporosa | 92,2% | Shieh <i>et al.</i> (2003) |
| Óleo de Girassol | Metanol | <i>Candida antarctica</i> B (Novozyme 435) | Resina macroporosa | 97% | Belafi-Bako <i>et al.</i> (2002) |

Fonte: Adaptado de Bajaj *et al.* (2010).

PERSPECTIVA NACIONAL DO BODIESEL

A produção de biodiesel no Brasil tem uma história recente. Se comparadas às produções de etanol e biodiesel no país, percebe-se que o etanol possui uma tecnologia consolidada em relação à do biodiesel, que é incipiente (MENDES, 2009).

Em meados dos anos 70, cogitou-se o desenvolvimento de um programa para produção de um combustível de origem renovável a base de matérias-primas oleaginosas, com o intuito

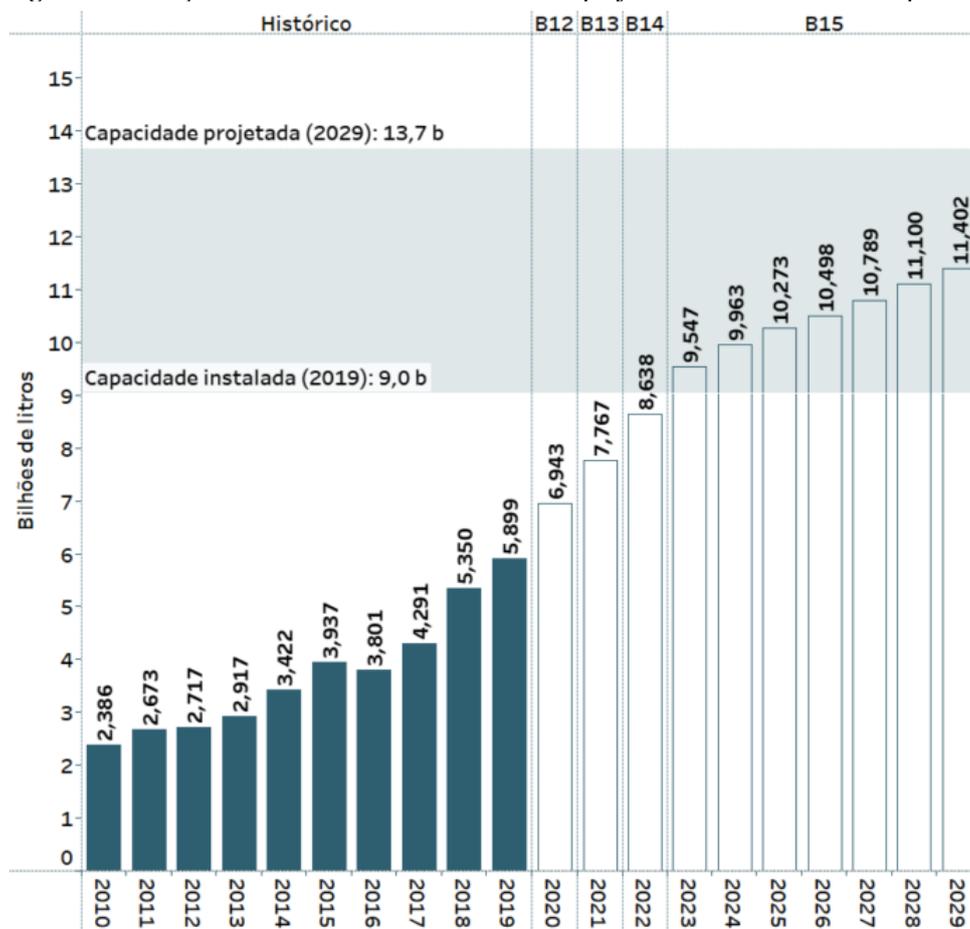
de substituir parcialmente o diesel derivado do petróleo. Na época, o programa foi chamado de “Pró-Óleo” ou “Pró-Diesel” (CÂMARA, 2006). Foram desenvolvidas pesquisas sobre o biodiesel e, em 1980, o Brasil foi um dos pioneiros ao registrar a primeira patente sobre o processo de produção. Entretanto, o programa permaneceu por muitos anos apenas como uma ideia para o futuro (CÂMARA, 2006). Em 2004, a ideia foi retomada através do lançamento pelo Governo Federal do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, da produção e uso do biodiesel no Brasil, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, através da geração de emprego e renda (ALVIM, SALLET, 2011). Na ocasião, o marco regulatório do setor, com base em decretos presidenciais, já estabelecia condições legais para a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.

Posteriormente, o marco legal foi respaldado pelo Congresso Nacional, regulamentado pela Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Essa lei introduz o biodiesel na matriz energética brasileira, fixando em 2% em volume o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional em um prazo de três anos (janeiro de 2008) e de 5% em um prazo de oito anos (janeiro de 2013), prazos esses que podem vir a ser reduzidos por uma eventual resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (PRATES, PIEROBON, COSTA, 2007).

Atualmente, o etanol e o biodiesel são os principais tipos de biocombustíveis produzidos e utilizados no setor de transportes brasileiro. Segundo o Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia lançado em maio de 2010, do período de 2007 a 2008, a participação da bioenergia (etanol e biodiesel) na matriz energética de transportes brasileira passou de 5% para 8% (MENDES, 2009).

Segundo dados fornecidos pela ANP, com o aumento gradativo da porcentagem deste biocombustível ao diesel, o volume de biodiesel produzido terá de crescer proporcionalmente, como mostra o gráfico da Figura 3, a fim de atender toda a demanda. Para tanto, a busca por novas fontes de matéria-prima para produção de biodiesel é uma alternativa para atender essa demanda crescente. Pelo menos 77% da produção do biocombustível tem como fonte o óleo de soja (ABIOVE, 2009). Enquanto o sebo bovino contribui sendo a segunda matéria-prima mais utilizada para a obtenção de biodiesel no Brasil (MARTINS *et al.*, 2011).

Figura 3: Produção histórica de biodiesel e demanda projetada em bilhões de litros por ano.



Fonte: ANP (mar, 2020) e EPE (PDE 2029).

O etanol e o biodiesel são os principais tipos de biocombustíveis produzidos e utilizados no setor de transportes brasileiro. Segundo o Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis do Ministério de Minas e Energia lançado em maio de 2010, do período de 2007 a 2008, a participação da bioenergia (etanol e biodiesel) na matriz energética de transportes brasileira passou de 5% para 8% (MENDES, 2009). Até a data da construção do presente capítulo, de acordo com o site BiodieselBR, cerca de 70 usinas operam a nível nacional para obtenção do biodiesel, sendo o Estado do Mato Grosso o responsável por comportar 21 unidades produtoras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da presente revisão foi possível identificar o crescimento significativo da demanda e do mercado nacional do biodiesel. Este crescimento ascendente fortalece a constante necessidade de estudos de aplicações de técnicas cada vez mais sustentáveis e modernas para síntese do biocombustível. Outro ponto de destaque é o potencial das rotas biocatalíticas que abrem portas para uma era energética sustentável, a qual a indústria pode entregar um biodiesel de qualidade e com conversões satisfatórias. Tais melhorias são proporcionadas pela aplicação

das lipases que apresentam condições reacionais brandas, possibilidade de reuso do biocatalisador quando aplicado imobilizado e, uma elevada especificidade, tornando os processos mais seguros, eficientes e minimizando a geração de subprodutos indesejados, o que enquadra o biodiesel sintetizado via rota enzimática como uma fonte energética limpa e condizente às diretrizes da química verde, colaborando assim para a redução dos impactos ambientais provocados pela exploração e processamento do diesel convencional.

REFERÊNCIAS:

ABIGOR, R. D., UADIA, P. O., FOGLIA, T. A., HAAS, M. J., JONES, K. C., OKPEFA, E., OBIBUZOR, J. U., BAFOR, M. E. **Lipase catalyzed production of biodiesel fuel from some Nigerian lauric oils.** *Biochem. Soc. Trans.*, v.28, p. 979-981, 2000.

ABIOVE, **Perspectivas para a soja 2020.** Mumbai: Congresso IASC, 2005.

ALMEIDA, L. C.; BARBOSA, M. S.; DE JESUS, F. A.; SANTOS, R. M.; FRICKS, A. T.; FREITAS, L. S.; SOARES, C. M. **Enzymatic transesterification of coconut oil by using immobilized lipase on biochar:** An experimental and molecular docking study. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, p. 1–8, 2020.

ALVIM, A. M.; SALLET, C. L. **Biocombustíveis:** uma análise da evolução do biodiesel no Brasil. *Economia & Tecnologia - Ano 07*, v. 25, 2011.

BAJAJ, A.; LOHAN, P.; JHA, P. N.; MEHROTRA, R. **Journal of Molecular Catalysis B:** Enzymatic Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification: An overview. v. 62, p. 9–14, 2010.

BAJAJ, A.; LOHAN, P.; JHA, PN.; MEHROTRA, R. **Biodiesel production through lipase catalyzed transesterification:** An overview. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 62, n. 1, p. 9–14, 2010.

BARBE, S.; LAFAQUIÈRE, V.; GUIEYSSE, D.; MONSAN, P.; REMAUD-SIMÉON, M.; ANDRÉ, I. **Insights into lid movements of Burkholderia cepacia lipase inferred from molecular dynamics simulations.** *Proteins: structure, function, and bioinformatics*. v. 77, n. 3, p. 509-523, 2009.

BARBOSA, A. S., LISBOA, J. A., SILVA, M. A., CARVALHO, N. B., PEREIRA, M. M., FRICKS, A. T., SOARES, C. M. The novel mesoporous silica aerogel modified with protic ionic liquid for lipase immobilization. *Química Nova*, v. 39, n. 4, p. 415-422, 2016.

BARBOSA, M. S.; FREIRE, C. C.; ALMEIDA, L. C.; FREITAS, L. S.; SOUZA, R. L.; PEREIRA, E. B.; MENDES, A.A.; PEREIRA, M. M.; LIMA, A. S.; SOARES, C. M. **Optimization of the enzymatic hydrolysis of Moringa oleifera Lam oil using molecular docking analysis for fatty acid specificity.** *Biotechnology and Applied Biochemistry*, v. 66, n. 5, p. 823–832, 2019.

BARBOSA, M. S.; FREIRE, C. C.; BRANDÃO, L. M.; PEREIRA, E. B.; MENDES, A. A.; PEREIRA, M. M.; LIMA, A. S.; SOARES, C. M. **Biolubricant production under zero-waste Moringa oleifera Lam biorefinery approach for boosting circular economy**. *Industrial Crops & Products*, v. 167, n. November, 2021.

BELAFI-BAKO, K.; KOVÁCS, F.; GUBICZA, L.; HANCSÓK, J. **Enzymatic biodiesel production from sunflower oil by *Candida antarctica* lipase in a solvent-free system**. *Biocatalysis and Biotransformation*, v. 20, n. 6, p. 437-439, 2002.

BiodieselBR. As usinas de Biodiesel do Brasil. (2022). Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/usinas_brasil>. Acesso em: 08 jan. 2022.

BOLETIM MENSAL DE BODIESEL. ANP, **Superintendência de refino e processamento de gás natural (SRP)**, 2010.

BOLINA, I. C. A.; SALVIANO, A. B.; TARDIOLI, P. W.; CREN, É. C.; MENDES, A. A. **Preparation of ion-exchange supports via activation of epoxy-SiO₂ with glycine to immobilize microbial lipase** – Use of biocatalysts in hydrolysis and esterification reactions. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 120, p. 2354–2365, 2018.

BOULIF, N. EL.; BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. **Process optimization for biodiesel production from corn oil and its oxidative stability**. *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2010, p. 9, 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Biodiesel Brasil - estado atual da arte**. 2006. 26 p.

CARDOSO, A., L.; NEVES, S. C., G.; SILVA, M., J. **Esterification of oleic acid for biodiesel production catalyzed by SnCl₂: a kinetic investigation**. *Energies*, v. 1, n. 2, p. 79-92, 2008.

CARRIÈRE, F.; WITHERS-MARTINEZ, C.; VAN TILBEURGH, H.; ROUSSEL, A.; CABBILLAU, C.; VERGER, R. **Structural basis for the substrate selectivity of pancreatic lipases and some related proteins**. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Biomembranes*, v. 1376, n. 3, p. 417-432, 1998.

CASAS, A., RUIZ, J., R, RAMOS, M., J, PÉREZ, A. **Effects of triacetin on biodiesel quality**. *Energy and Fuels*, v. 24, n. 8, p. 4481–4489, 2010.

CASAS-GODOY, L.; DUQUESNE, S.; BORDES, F. **Lipases and Phospholipases**. *Methods Mol Biol*, v. 861, p. 3–30, 2012.

CASTRO, H. F.; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C. D.; AGUIAR, C. L. D. **Modificação de óleos e gorduras por biotransformação**. *Química Nova*, v. 27, n. 1, p. 146–156, 2004.

CHIOU, S. H.; WU, W. T. **Immobilization of *Candida rugosa* lipase on chitosan with activation of the hydroxyl groups**. *Biomaterials* 25, 197–204, 2003.

CHONGKHONG, S.; TONGURAI, C.; CHETPATTANANONDH, P.; BUNYAKAN, C. **Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate**. *Biomass and Bioenergy*, v. 31, n. 8, p. 563-568, 2007.

DAMASO, M. C. T.; FARINAS, C. S.; SALUM, T. F. C. **Produção e imobilização de enzimas aplicadas à produção de etanol e biodiesel.** Microrganismos na Produção de Biocombustíveis Líquidos. Embrapa, 2012.

DANTAS, M. B.; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, F. C.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. **Obtenção de Biodiesel através da Transesterificação do Óleo de Milho:** Conversão em Ésteres Etílicos e Biodiesel BR. Biodiesel, v. 1, p. 236–240, 2006.

DE CASTRO, H. F.; MENDES, A. A.; SANTOS, J. C.; AGUIAR, C. L. **Modificação de óleos e gorduras por biotransformação.** Revista Química Nova, v. 27, n. 1, p. 146-156, 2004.

DEHGHAN, L.; GOLMAKANI, M. T.; HOSSEINI, S. M. H. **Optimization of microwave-assisted accelerated transesterification of inedible olive oil for biodiesel production.** Renewable Energy, v. 138, p. 915–922, 2019.

DI SERIO, M.; TESSER, R.; DIMICCOLI, M.; CAMMAROTA, F.; NASTASI, M.; SANTACESARIA, E. (2005). **Synthesis of biodiesel via homogeneous Lewis acid catalyst.** Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 239(1-2), 111-115.

DU, W.; XU, Y. Y.; LIU, D. H.; LI, Z. B. **Study on acyl migration in immobilized lipozyme TL-catalyzed transesterification of soybean oil for biodiesel production.** Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic, v. 37, n. 1-6, p. 68-71, 2005.

DUTRA, L. S.; PINTO, M. C. C.; CIPOLATTI, E. P.; AGUIEIRAS, E. C. G; MANOEL, E. A.; GRECO-DUARTE, J.; FREIRE, D. M. G.; PINTO, J. C. **How the biodiesel from immobilized enzymes production is going on:** An advanced bibliometric evaluation of global research. Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 153, p. 111765, 2022.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica.** Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2007.

FERNANDES, K. V.; PAPADAKI, A.; DA SILVA, J. A. C.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; KOUTINAS, A. A.; FREIRE, D. M. G. **Enzymatic esterification of palm fatty-acid distillate for the production of polyol esters with biolubricant properties.** Industrial Crops and Products, v. 116, n. February, p. 90–96, 2018.

FICKERS, P.; MARTY, A.; NICAUD, J. M. **The lipases from Yarrowia lipolytica:** Genetics, production, regulation, biochemical characterization and biotechnological applications. Biotechnology Advances, v. 29, n. 6, p. 632–644, 2011.

FURLANI, I. L.; AMARAL, B. S.; OLIVEIRA, R. V.; CASS, Q. B. **Imobilização enzimática: conceito e efeitos na proteólise.** Quim. Nova, Vol. 43, No. 4, 463-473, 2020.

GERPEN, J. V. **Biodiesel processing and production.** Fuel Processing Technology. v. 86, p. 1097–107, 2005.

GOSWAMI, D.; BASU, J. K.; DE, S. **Lipase applications in oil hydrolysis with a case study on castor oil:** A review. Critical Reviews in Biotechnology, v. 33, n. 1, p. 81–96, 2013.

HA, S. H.; LAN, M. N.; LEE, S. H.; HWANG, S. M.; KOO, Y. M. **Lipase-catalyzed biodiesel production from soybean oil in ionic liquids.** Enzyme and Microbial Technology. v. 41, p. 480–483, 2007.

HA, S. H.; LAN, M. N.; LEE, S. H.; HWANG, S. M.; KOO, Y. M. **Lipase-catalyzed biodiesel production from soybean oil in ionic liquids.** *Enzyme and Microbial Technology*, v. 41, n. 4, p. 480–483, 2007.

HAAS, M. J.; MCALOON, A. J.; YEE, W. C.; FOGLIA, T. A. (2006). **A process model to estimate biodiesel production costs.** *Bioresource technology*, 97(4), 671-678.

HASAN, F.; SHAH, A. A.; HAMEED, A. **Industrial applications of microbial lipases.** *Enzyme and Microbial Technology*, 39: 235-251, 2006.

KANSEDO, J.; LEE, K. T.; BHATIA, S. **Biodiesel production from palm oil via heterogeneous transesterification.** *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 2, p. 271–276, 2009.

KARMAKAR, G.; GHOSH, P.; SHARMA, B. K. **Chemically modifying vegetable oils to prepare green lubricants.** *Lubricants*, v. 5, n. 4, p. 1–17, 2017.

KEERA, S. T.; EL SABAGH, S. M.; TAMAN, A. R. **Castor oil biodiesel production and optimization.** *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 27, n. 4, p. 979–984, 2018.

KHAN, F. I.; LAN, D.; DURRANI, R.; HUAN, W.; ZHAO, Z.; WANG, Y. **The Lid Domain in Lipases: Structural and Functional Determinant of Enzymatic Properties.** *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, v. 5, p. 16, 2017.

KNOTHE, G. **Structure indices in FA chemistry. How relevant is the iodine value?** *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v.79, p. 847-854, 2002.

KNOTHE, G.; KRAHL, J.; GERPEN, J. VAN. **The Biodiesel Handbook.** 2. ed. [s.l: s.n.].

KUMAR, D.; KUMAR, G.; SINGH, C. P. **Fast, easy ethanolsis of coconut oil for biodiesel production assisted by ultrasonication.** *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 17, n. 3, p. 555–559, 2010.

KUMARI, A. MAHAPATRA, P.; GARLAPATI, V. K.; BANERJEE, R. **Enzymatic transesterification of Jatropha oil.** *Biotechnology for Biofuels*, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2009.

LA SALLES, K. T. S.; MENEGHETTI, S. M. P.; DE LA SALLES, W. F.; MENEGHETTI, M. R.; DOS SANTOS, I. C. F.; DA SILVA, J. P. V.; SOLETTI, J. I. **Characterization of Syagrus coronata (Mart.) Becc. oil and properties of methyl esters for use as biodiesel.** *Industrial Crops and Products*, v. 32, n. 3, p. 518–521, 2010.

LISBOA, M. C.; RODRIGUES, C. A.; BARBOSA, A. S.; MENDONÇA, F. M. R.; MATTEDI, S.; MENDES, A. A.; DARIVA, C.; FRANCESCHI, E.; LIMA, A. S.; SOARES, C. M. F. **Isotherm adsorption studies in the immobilization of lipase from *Burkholderia cepacia* on chemically modified silica aerogel particles.** In: XXI Simpósio Nacional de Bioprocessos e XII Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas, Aracaju. v. 2, 2017.

LISBOA, M. C.; WILTSHIRE, F. M. S.; FRICKS, A. T.; DARIVA, C.; CARRIÈRE, F.; LIMA, Á. S.; SOARES, C. M. F. **Oleochemistry potential from Brazil northeastern exotic plants.** *Biochimie*, v. 178, n., p. 96–104, 2020.

LUO, Y.; ZHENG, Y.; JIANG, Z.; MA, Y.; WEI, D. **Uma nova lipase psicrofílica de *Pseudomonas fluorescens* com propriedade única em resolução quiral e produção de**

biodiesel via transesterificação. *Microbiologia aplicada e biotecnologia*, v. 73, n. 2, pág. 349-355, 2006.

MARTINS, R.; NACHILUK, K.; BUENO, C. R. F.; FREITAS, S. D. **O biodiesel de sebo bovino no Brasil.** *Informações Econômicas*, v. 41, n. 5, p. 56-70, 2011.

MELO, L. C. P.; POPPE, M. K. **Challenges in Research, Development and Innovation in Biofuels in Brazil.** *Sugar Cane Bioethanol: R&D for productivity and sustainability*, p. 27–34, 2010.

MENDES, A. A.; OLIVEIRA, P. C.; DE CASTRO, H. F. **Properties and biotechnological applications of porcine pancreatic lipase.** *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, v. 78, p. 119–134, 2012.

MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C. da. **Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras.** *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 31, p. 253-280, nov. 2009.

MONTEIRO, M. R.; AMBROZIN, A. R. P.; LIÃO, L. M.; FERREIRA, A. G. **Critical review on analytical methods for biodiesel characterization.** *Talanta*, 77(2), p. 593-605, 2008.

MOTA, D. A.; BARBOSA, M. S.; SCHNEIDER, J. K.; LIMA, A. S.; PEREIRA, M. M.; KRAUSE, L. C.; SOARES, C. M. F. **Potential Use of Crude Coffee Silverskin Oil in Integrated Bioprocess for Fatty Acids Production.** *JAOCS*, Journal of the American Oil Chemists' Society, 2021.

MYINT, L. L.; EL-HALWAGI, M. M. **Process analysis and optimization of biodiesel production from soybean oil.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 11, n. 3, p. 263–276, 2009.

NELSON, L. A.; FOGLIA, T. A.; MARMER, W. N. **Lipase-catalyzed production of biodiesel.** *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 73, n. 9, p. 1191-1195, 1996.

NIELSEN, P. M.; BRASK, J.; FJERBAEK, L. **Enzymatic biodiesel production: Technical and economical considerations.** *European Journal of Lipid Science and Technology*, v. 110, n. 8, p. 692–700, 2008.

NORJANNAH, B.; ONG, H. C.; MASJUKI, H. H.; JUAN, J. C.; CHONG, W. T. **Enzymatic transesterification for biodiesel production: A comprehensive review.** *RSC Advances*, v. 6, n. 65, p. 60034–60055, 2016.

OLIVEIRA, D. S.; XAVIER, D. S. F.; FARIAS, S. P. N.; BEZERRA, V. S.; PINTO, C. H. C.; SOUZA, L. D.; SANTOS, A. G. D.; MATIAS, L. G. O. **Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de moringa oleífera lam.** *HOLOS*, Ano 28, Vol 1, 2012.

OMONHINMIN, C. A.; OLOMUKORO, E.; AYoola, A. A.; EGWIM, E. **Utilization of Moringa oleifera oil for biodiesel production: A systematic review.** *AIMS Energy*, v. 8, n. 1, p. 102–121, 2020.

POURZOLFAGHAR, H.; ABNISA, F.; DAUD, W. M. A.; AROUA. **A review of the enzymatic hydroesterification process for biodiesel production.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 61, p. 245-257, 2016.

PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C. **Formação do mercado de biodiesel no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.25, p. 39-64, mar. 2007.

QUAYSON, E.; AMOAH, J.; HAMA, S.; KONDO, A.; OGINO, C. **Immobilized lipases for biodiesel production**: Current and future greening opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 134, n. September, p. 110355, 2020.

QUESSADA, T. P. **Obtenção de Biodiesel a partir de óleo de Soja e Milho Utilizando Catalisadores Básicos e Ácido**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2007.

RAHIMI, M.; AGHEL, B.; ALITABAR, M.; SEPAHVAND, A.; GHASEMPOUR, H. R. **Optimization of biodiesel production from soybean oil in a microreactor**. *Energy Conversion and Management*, v. 79, p. 599–605, 2014.

RAMADHAS, A. S.; JAYARAJ, S.; MURALEEDHARAN, C. **Biodiesel production from high FFA rubber seed oil**. *Fuel*, v. 84, n. 4, p. 335-340, 2005.

ROBLES-MEDINA, A.; GONZÁLEZ-MORENO, P. A.; ESTEBAN-CERDÁN, L.; MOLINA-GRIMA, E. **Biocatalysis**: Towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology advances*, v. 27, n. 4, p. 398-408, 2009.

ROONEY, D.; WEATHERLEY, L. R. **The effect of reaction conditions upon lipase catalysed hydrolysis of high oleate sunflower oil in a stirred liquid-liquid reactor**. *Process Biochemistry*, v. 36, n. 10, p. 947–953, 2001.

SANDOVAL, G.; CASAS-GODOY, L.; BONET-RAGEL, K.; RODRIGUES, J.; FERREIRA-DIAS, S.; VALERO, F. **Enzyme-Catalyzed Production of Biodiesel as Alternative to Chemical- Catalyzed Processes**: Advantages and Constraints. *Current Biochemical Engineering*, v. 4, n. 2, 2017.

SCHMID, A.; DORDICK, J. S.; HAUER, A.; KIENER, A.; WUBBOLTS, M.; WITHOLT, B. **Industrial biocatalysis today and tomorrow**. *Nature*, 409: p. 258-268, 2001.

SHAH, S.; GUPTA, M. N. **The effect of ultrasonic pre-treatment on the catalytic activity of lipases in aqueous and non-aqueous media**. *Chemistry Central Journal*, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2008.

SHAH, S.; SHARMA S.; GUPTA, M. N. **Biodiesel preparation by lipase-catalyzed transesterification of Jatropha oil**. *Energy & Fuels*, v. 18, n. 1, p. 154-159, 2004.

SHIEH, C. J.; LIAO, H. F.; LEE, C. C. **Optimization of lipase-catalyzed biodiesel by response surface methodology**. *Bioresource technology*, v. 88, n. 2, p. 103-106, 2003.

SOUZA, L. T. A.; VERÍSSIMO, L. A. A.; JOÃO, B. C. P.; SANTORO, M. M.; RESENDE, R. R.; MENDES, A. A. **Imobilização enzimática**: princípios fundamentais e tipos de suporte. p. 529 -568. In: *Biotecnologia Aplicada à Agro&Indústria - Vol. 4*. São Paulo: Blucher, 2017.

TAN, T.; LU, J.; NIE, K.; DENG, L.; WANG, F. **Biodiesel production with immobilized lipase**: a review. *Biotechnology advances*, v. 28, n. 5, p. 628-634, 2010.

TUPUFIA, S. C.; JEON, Y. J.; MARQUIS, C.; ADESINA, A. A.; ROGERS, P. L. **Enzymatic conversion of coconut oil for biodiesel production.** Fuel Processing Technology, v. 106, p. 721–726, 2013.

WATANABE, Y.; SHIMADA, Y.; SUGIHARA, A.; NODA, H.; FUKUDA, H.; TOMINAGA, Y. **Continuous production of biodiesel fuel from vegetable oil using immobilized *Candida antarctica* lipase.** J. Am. Oil Chem. Soc., v. 77, p.355-359, 2000.

WAWRZYNIAK, R.; WASIAK, W.; FRACKOWIAK, M. **Determination of methyl esters in diesel oils by gas chromatography-validation of the method.** Chemical Papers-Slovak Academy of Sciences, 59 (6B), p. 449, 2005.

YANG, J.; ZHANG, B.; YAN, Y.; **Cloning and expression of *Pseudomonas fluorescens* 26-2 lipase gene in *Pichia pastoris* and characterizing for transesterification.** Applied biochemistry and biotechnology, v. 159, n. 2, p. 355-365, 2009.

ZENEVICZ, M. C. P.; JACQUES, A.; DE OLIVEIRA, D.; FURIGO JR, A.; VALÉRIO, A.; OLIVEIRA, J. V. **A two-step enzymatic strategy to produce ethyl esters using frying oil as substrate.** Industrial Crops and Products, v. 108, n. May, p. 52–55, 2017.

ZHAO, X.; EL-ZAHAB, B.; BROSNAHAN, R.; PERRY, J.; WANG, P. **An organic soluble lipase for water-free synthesis of biodiesel.** Applied biochemistry and biotechnology, v. 143, n. 3, p. 236-243, 2007.

CAPÍTULO 17

PROJETOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NOS CURSOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E ELÉTRICA

Paulo França Barbosa Neto
Lucio Garcia Veraldo Junior
Antônio Lopes Nogueira da Silva
César Augusto Botura
Giulliano Assis Soderó Boaventura

RESUMO

A abordagem Project Led Education (PLE) parte da proposição de um tema de projeto, visando o desenvolvimento de um produto, artefato, protótipo, processo ou sistema por meio do trabalho participativo desenvolvido por uma equipe de alunos. Dentro deste processo de aprendizagem PLE, podemos incluir os projetos interdisciplinares. O artigo tem como objetivo a aplicação de conceitos teóricos de engenharia pelos alunos no desenvolvimento de um protótipo que gere uma energia limpa e renovável utilizando a abordagem PLE. Os resultados mostram que as atividades desenvolvidas para a criação dos protótipos contemplaram conhecimentos de gestão de projetos, de física, químicas e matemática.

PALAVRAS-CHAVE: Project Led Education (PLE), Energia Renovável, Sustentabilidade e Engenharia

INTRODUÇÃO

As metodologias baseadas na aprendizagem ativa voltadas para os cursos de engenharia podem ser aplicadas de diversas formas, uma delas é conhecida como *Project Led Education* (PLE) (FRANZEN; SCHLICHTING; HEINING, 2013, p.7). Esta abordagem tem como objetivo a solução de grandes tarefas com dificuldades crescentes, soluções abertas e questões desafiadoras, com as quais os alunos são capazes de criar produtos, processos ou sistemas. Além disso, este processo de aprendizagem possibilita a aplicação das teorias e ferramentas desenvolvidas ao longo do curso de engenharia (GIL, 2006, p. 155).

A abordagem PLE parte da proposição de um tema de projeto, visando o desenvolvimento de um produto, artefato, protótipo, processo ou sistema por meio do trabalho participativo desenvolvido por uma equipe de alunos. As etapas levam os alunos a coletarem dados e informações que gerem ideias que busque a solução do tema proposto pelo projeto. Este processo desencadeará uma busca por soluções e respostas que lhes possibilitam encontrar na teoria das disciplinas o apoio ao projeto, concretizando, assim, uma resolução para a situação problema proposta como objetivo do trabalho (BARBOSA NETO, VERALDO JR.; DE

ALMEIDA, 2017, p.115). Além disso, os projetos interdisciplinares utilizam uma abordagem didática na qual os alunos trabalham colaborativamente na concepção do projeto e têm a possibilidade de exercer uma gama de habilidades interdisciplinares trabalhando em colaboração em busca da solução de problemas (BIASUTTI e EL-DEGHAIDY, 2014, p.3).

Dentro deste processo de aprendizagem PLE, podemos incluir os projetos interdisciplinares. Os projetos interdisciplinares uma abordagem pluri ou multidisciplinar e são formados a partir de uma associação de diferentes disciplinas em torno de um tema comum (SANTOS, 2021, p.19). Esta abordagem de aprendizagem têm sido cada vez mais utilizados em instituições de ensino superior de todo o mundo com o objetivo de melhorar a preparação os alunos para o mercado de trabalho, mostrando-se uma necessidade relevante nos cursos de engenharia (VERALDO JR.; DE ALMEIDA; BARBOSA NETO, 2016, p.48). Este processo, a busca pelas soluções estimula os alunos a identificar as ferramentas e as tecnologias que auxiliem a superar as crises, quando ocorrerem, de maneira eficaz, uma vez que a situação problema não será novidade para eles. Hoje, sabe-se que os profissionais de engenharia precisam dominar habilidades e competências que vão além do conhecimento técnico, e isso inclui habilidades colaborativas para resolver problemas, desenvolver tecnologia e gerar inovação (BARBOSA NETO, VERALDO JR.; DE ALMEIDA, 2017, p.115).

Neste artigo foi utilizada cinco experiências envolvendo uma pesquisa operacional quantitativa empírica combinada com uma abordagem PLE partindo do processo prático para desenvolver um protótipo utilizando processos de experimentação e apresentando a implantação de métodos alternativos para a geração de uma energia limpa. O trabalho tem como objetivo evidenciar a aplicação de conceitos teóricos de engenharia, desenvolvidos ao longo do curso de Engenharia de Produção e Engenharia Elétrica em um processo de desenvolvendo de um protótipo. Além disso, espera-se o desenvolvimento, não apenas as análises e soluções de problemas, mas também das habilidades necessárias de um futuro profissional de engenharia. Dentro do contexto acadêmico o trabalho tem a pretensão, além do desenvolvimento do protagonismo do aluno, de contribuir com o desenvolvimento de outros projetos baseados na metodologia deste artigo. Os projetos foram desenvolvidos por alunos de engenharia de produção e elétrica dentro dos laboratórios do Centro Salesiano São Paulo (UNISAL) em Lorena no Vale do Paraíba, instituição pioneira na aplicação de metodologias ativas e projetos interdisciplinares (VERALDO JR., 2017, p.66).

METODOLOGIA

O percurso metodológico para o desenvolvimento dos projetos foi fundamentado em uma pesquisa operacional quantitativa empírica combinada com uma abordagem PLE com a utilização de oficinas e atividades práticas realizadas nos laboratórios de mecânica e eletricidade do UNISAL, unidade São Joaquim. Completando as atividades, dois professores se revezaram no acompanhamento da criação do protótipo e do artigo científico que caracterizavam a entrega final do projeto. Além disso, cada projeto contemplou uma lista simples dos materiais e seu custo utilizado no protótipo, expandia, posteriormente, para simulação dos valores finais do projeto com dimensões reais. Já o tempo de duração de cada atividade, a forma de abordagem de cada necessidade e uma descrição das atividades desenvolvidas são ilustradas na Figura 01:

Figura 1: Cronograma principal.

| Data | Atividade |
|-------------|--------------------------------------|
| 12/ago | Discussões Iniciais |
| 19/ago | Oficina de Metodologia |
| 26/ago | Oficina SEBRAE |
| 02/set | Definição dos Grupos - Plano de ação |
| 16/set | Oficina de Ferramentas da Qualidade |
| 23/set | Andamento do artigo |
| 07/out | Apresentação Intermediária |
| 21/out | Orientação grupos |
| 28/out | Andamento do artigo |
| 04/nov | Orientação grupos |
| 11/nov | Andamento do artigo |
| 18/nov | Orientação grupos |
| 25/nov | Análise final do artigo |
| 02/dez | Apresentação Final do Projeto |

Fonte: o autor.

Desta forma, em uma etapa seguinte foram definidos os componentes de cada grupo de trabalho (optou-se por 5 grupos) e cada um deles ficou responsável pelo desenvolvimento do projeto e a construção do protótipo. Sendo assim, na data pré-agendada, antes da finalização do semestre, todos os grupos deveriam entregar um artigo científico e apresentar todas as etapas pertinentes ao projeto interdisciplinar. Os resultados alcançados pelos projetos foram desenvolvidos no 2º semestre de 2020 abordando as seguintes temáticas: geração de energia elétrica por meio de lombada inteligente, a geração de energia renovável com fonte no biogás, a geração de energia por meio de fluxo de ar de veículos, a geração de energia utilizando um piso elétrico e, finalizando, o aquecimento de uma piscina utilizando um coletor solar. Todos

os projetos seguiram um cronograma pré-estabelecido e consonância com o cronograma principal (Figura 01). Este cronograma operacional é apresentado na Figura 02:

Figura 2: Cronograma secundário.

| | Cronograma Secundário | Datas |
|-----------|--|--------------|
| 1 | Análise do projeto desenvolvido | 23/set |
| 2 | Identificação de oportunidades de melhoria (problemas) | 30/set |
| 3 | Possíveis soluções de melhoria | 07/out |
| 4 | Estabelecer a viabilidade técnica | 14/out |
| 5 | Definição de materiais a utilizar no protótipo | 21/out |
| 6 | Dimensionamento do protótipo (escala) | 28/out |
| 7 | Etapas do processo de fabricação | 04/nov |
| 8 | Fabricação do protótipo | 11/nov |
| 9 | Testar o produto | 18/nov |
| 10 | Expandir os valores para escala (1:1) | 25/nov |

Fonte: o autor.

RESULTADOS

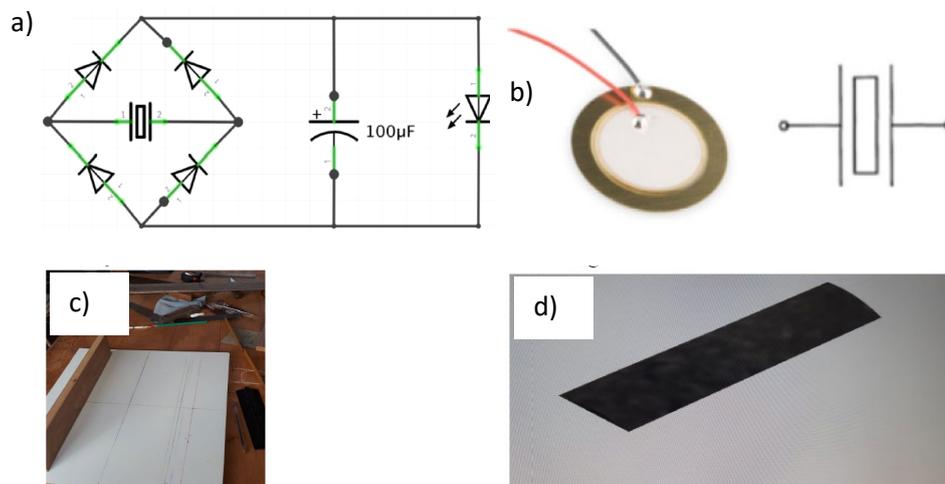
Nesta secção apresentaremos os resultados obtidos pelos 5 grupos. Os relatos foram extraídos dos artigos entregues por cada um dos grupos, além dos relatórios fotográficos e da apresentação presencial dos protótipos:

Projeto 01 - Geração de energia elétrica por meio de lombada inteligente.

O projeto dos alunos do Grupo 01 teve como objetivo a transformação de energia mecânica em energia elétrica utilizando uma lombada inteligente. Sendo assim, foram criadas três possíveis soluções: utilização de um dínamo, de um motor gerador e de transdutores piezoelétricos. Foi selecionado o modelo com a utilização dos transdutores piezoelétricos, uma vez que os alunos perceberam que o dínamo e o motor não foram capazes de gerar a tensão elétrica necessária para acender o LED do poste do protótipo.

Desta forma, o uso dos transdutores piezoelétricos apresentou os melhores resultados nos testes, sendo possível gerar energia elétrica na tensão mínima para acender o LED. O modelo final contempla placas compostas pelos transdutores piezoelétricos, neste caso, a vibração gerada pela passagem dos carros sobre lombada causa deformação das células dos transdutores instaladas sob a lombada propiciando a obtenção de energia elétrica. O material usado (desenhos, componentes, processos construtivos, etc.) na construção do protótipo é mostrado na Figura 3:

Figura 3: Material utilizado na construção da lombada inteligente: (a) o desenvolvimento teórico do projeto de acúmulo de energia, (b) o Transdutores piezoelétricos, (c) o projeto da base em MDF e (d) e uma placa de acrilonitrila butadieno estireno de 200 mm x 45 mm x 5 mm representando uma lombada.



Fonte: o autor.

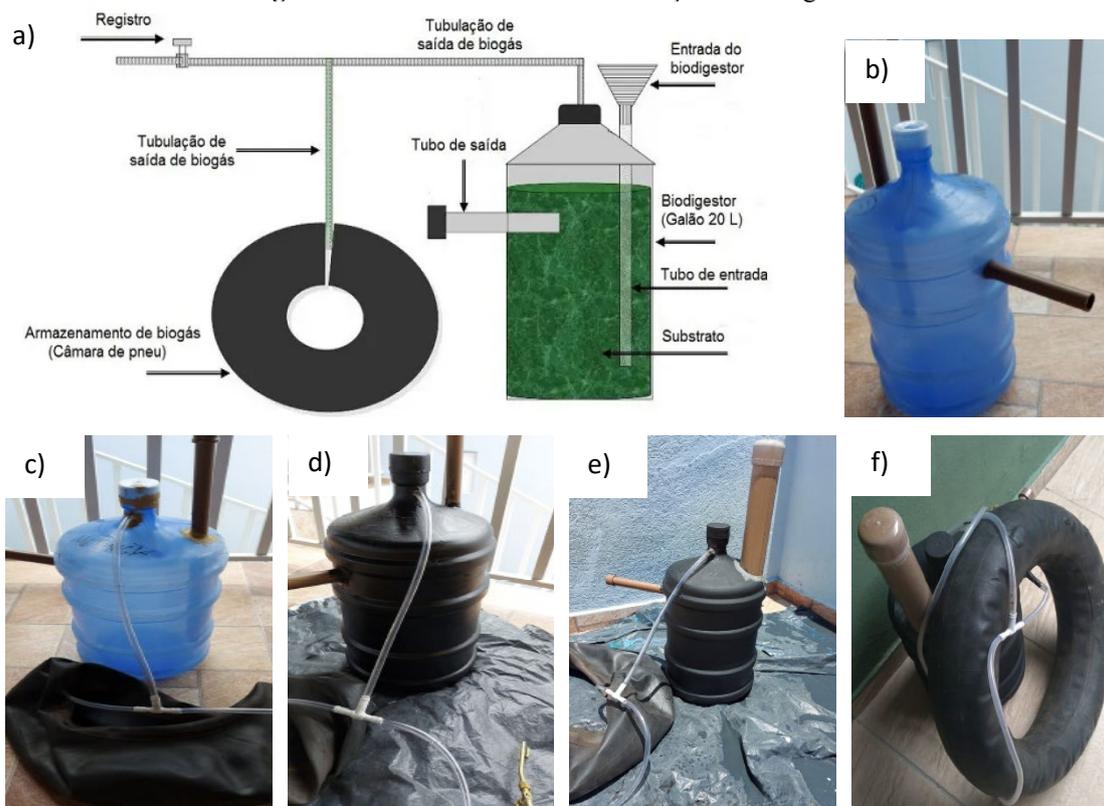
Ao final do trabalho o grupo pode entender a importância da interdisciplinaridade, sua relevante contribuição acadêmica e a sua aplicabilidade prática. Além disso, os relatos obtidos na conclusão do artigo mostram que com o conhecimento adquirido para a execução de todas as etapas do projeto (iniciação, planejamento, execução, monitoramento/controle e encerramento) os alunos se sentiram confiantes para discutir os problemas enfrentados e a teoria utilizada na busca da solução mais adequada.

Projeto 02 - Geração de energia renovável com fonte no biogás

Os componentes do Grupo 02 optaram pela geração de energia utilizando o esterco como matéria prima. Desta forma, foi desenvolvido um protótipo funcional, em escala aproximadamente 4000 vezes menor ao real para avaliar a viabilidade de um projeto em dimensões reais e avaliar as possíveis falhas e riscos que poderia existir. Para isso, os alunos necessitaram de adquirir conhecimento relacionado ao funcionamento de biodigestores.

Dentro deste contexto, o protótipo foi construído com base na teoria e nos riscos do projeto. Após a sua construção do protótipo, foi analisado seu funcionamento e verificado sua capacidade. Nesta etapa os alunos perceberam a necessidade de um recipiente para o armazenamento dos dejetos, uma vez que nele acontece o processo de fermentação por meio das bactérias anaeróbicas. O material utilizado pelo Grupo 2 para o desenvolvimento da sua solução é exibido na Figura 4:

Figura 4: Material utilizado na construção do biodigestor.



Fonte: o autor.

O gás gerado pelo biodigestor foi capaz de encher uma câmara de pneu e de ascender um pequeno bico de gás. Neste projeto os alunos entenderam e relembram o conhecimento físico das propriedades dos gases e sua expansão, além de conceitos importantes de termodinâmica. Adicionalmente, com o entendimento da digestão anaeróbica como processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio sem a presença do gás oxigênio foi possível revisar conceitos envolvendo as reações químicas.

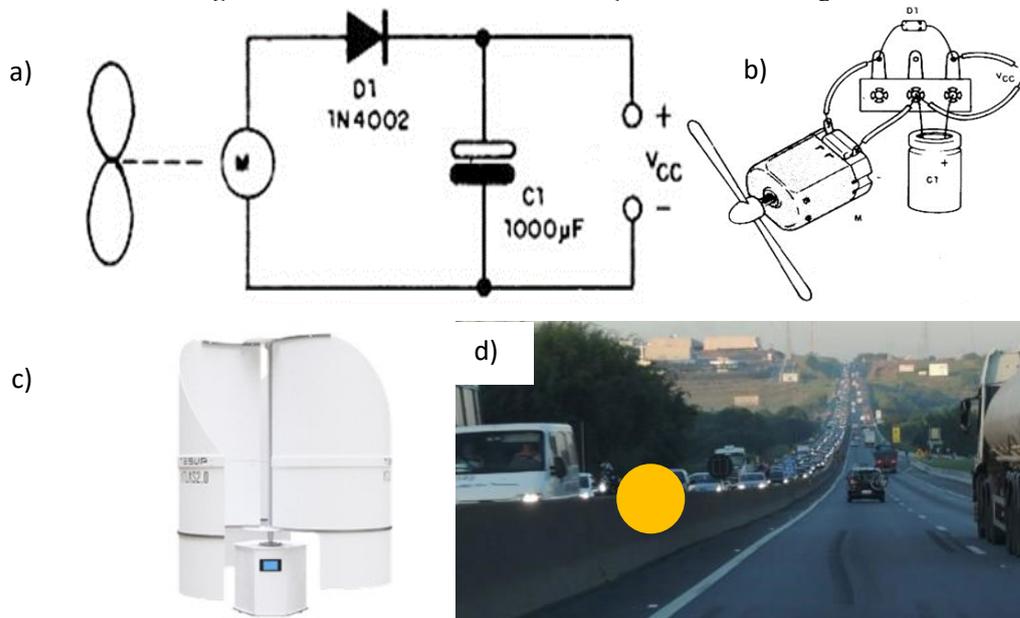
Projeto 03 - Geração de energia por meio de fluxo de ar de veículos.

Os alunos do Grupo 03 objetivaram a utilização do vento com matéria prima para a geração de energia elétrica. Os alunos planejaram a instalação de aerogeradores instalados em rodovias para utilizar o fluxo de ar gerado pelo movimento dos veículos em alta velocidade. Os aerogeradores são capazes, pela concepção dos alunos, de 2KW/h.

Sendo assim, a geração de energia seria gerada pelo movimento dos veículos, neste caso a geração de energia elétrica é proporcional ao fluxo de veículos que transitam na rodovia diariamente, o que poderia ser um risco em determinados horários. Além deste risco, os alunos perceberam que a eficiência de veículos maiores e pesados, como caminhões e ônibus, são capazes de gerar mais energia que os veículos menores como carros e motos. Porém, mesmo

considerando os riscos observou-se, considerando uma velocidade média de 80 km/h para veículos maiores e de 110 km/h para veículos menores, que o deslocamento de ar gerado é suficiente para gerar energia elétrica. A localização dos aerogeradores e o material utilizado para a confecção do protótipo são mostrados na Figura 5:

Figura 5: Material utilizado na construção da rede de aerogeradores.



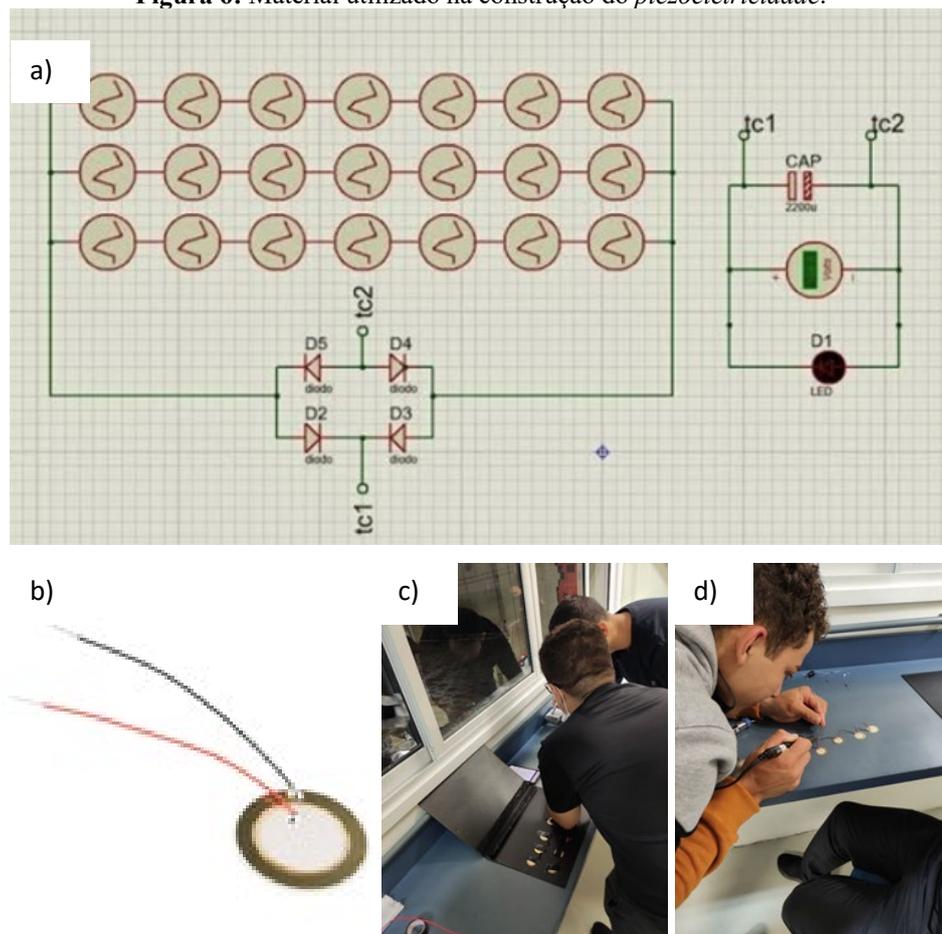
Fonte: o autor.

Os alunos utilizaram seus conhecimentos de matemática e de projeção de cenários por meios de premissas de projeto que os auxiliaram a buscar uma solução viável para a geração alternativa de energia elétrica. Este processo matemático trouxe segurança para que eles fossem capazes de definir o melhor local de instalação dos equipamentos considerando o fluxo dos veículos e os locais que utilizariam a energia gerada, neste caso eles definiram a alimentação local de postos de pedágio e de guardas rodoviários.

Projeto 04 - Geração de energia utilizando um piso elétrico.

Os alunos deste Grupo 4 concentrou-se em apresentar o conceito da tecnologia *piezoelectricidade*, uma alternativa de energia sustentável, ainda nova no mercado, porém promissora, pois permite a conversão de impulsos mecânicos em eletricidade. O protótipo contemplou uma placa de borracha compostas pelas células de transdutores que acionam um poste de LED. O material utilizado neste protótipo é exibido na Figura 6:

Figura 6: Material utilizado na construção do *piezoelectricidade*.



Fonte: o autor.

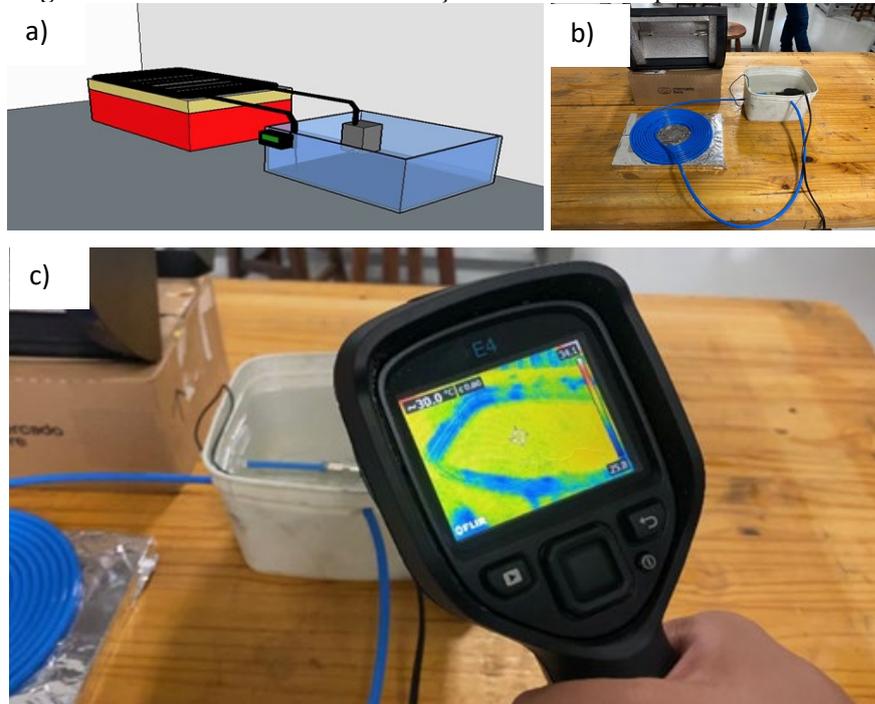
Os alunos conseguiram entender o funcionamento de uma célula transdutora. Utilizando seu conhecimento de mecânica e eletricidade desenvolvidos ao longo do curso de engenharia puderam definir que a geração interna de carga elétrica resultante de uma força mecânica aplicada e é entendida como a interação eletromecânica linear entre a força mecânica e o estado elétrico das forças de Coulomb em materiais cristalinos cerâmicos.

Projeto 05 – Aquecimento de uma piscina utilizando um coletor solar

Neste último projeto, os alunos planejaram um sistema de aquecimento de uma piscina. Além disso, o protótipo considerou o uso de coletores solares, utilizando a radiação solar como fonte de transformação ao realizar o aquecimento da água. Desta forma, foi criado um protótipo do sistema de coletores solares para o aquecimento da água de uma piscina localizada no UNISAL Lorena. O protótipo foi construído como um sistema fechado onde existe a captação da energia térmica emitida pela luz de uma lâmpada halógena. Esta energia aquece a água contida nos captadores (mangueiras azuis). Esta água aquecida é lançada no reservatório com a água fria (recipiente branco) e retorna aos coletores por meio de uma bomba (de aquário). A

operação se repete até o termômetro atingir 24°C e desligar a bomba. O material utilizado na elaboração do protótipo é exibido na Figura 7

Figura 7: Material utilizado na construção do sistema de aquecimento.



Fonte: o autor.

Neste projeto é claro a utilização dos alunos dos seus conhecimentos de termodinâmica, especialmente aos conceitos relacionados a irradiação térmica. Os alunos foram capazes de entender que a radiação térmica não requer um meio intermediário para transportá-la. Além disso, por este fato, conseguir aplicar o conceito de que este tipo de energia térmica é emitido por uma superfície aquecida em todas as direções e movimenta-se diretamente ao seu ponto de absorção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aprendizagem baseada em projetos tornou-se uma estratégia de ensino popular usada na sala de aula de hoje, tanto presencial como virtualmente, uma vez que a pandemia da COVID-19 que contaminou o mundo em 2020 e 2021 impôs diferentes desafios pedagógicos aos docentes com o objetivo de manter a qualidade do ensino, tanto nas instituições particulares quanto em instituições públicas especialmente em relação a uma estrutura adequada para o desenvolvimento destas novas atividades. (ARAÚJO; XAVIER; RODRIGUES, 2021, p. 10). Além disso, neste tipo de abordagem os alunos podem demonstrar suas habilidades e conhecimentos criando um produto, protótipo ou serviço para ser compartilhado com seus

colegas e professor, resultando no desenvolvimento de conhecimento de conteúdo, habilidades de pensamento crítico, colaboração, criatividade e habilidades de comunicação.

Ao se realizar o diagnóstico por meio dos registros das conclusões dos artigos entregues pelos alunos é possível perceber que os conhecimentos prévios não contemplavam determinados conceitos, como por exemplo, a necessidade de criar-se uma ponte com quatro diodos, no caso da lombada inteligente. Como o LED é polarizado apenas em um único sentido, foi necessário realizar a ligação do ânodo (terminal positivo) e do catodo (terminal negativo) para que ele funcionasse. Além disso, o sinal gerado pelos transdutores é pulsante, desta forma ele só acendia em um desses pulsos, tornando a iluminação intermitente. Para resolver o problema os alunos instalaram uma ponte com quatro diodos invertendo os pulsos negativos. Esta ação permitiu se aproveitar o ciclo completo da geração de energia.

Dentro deste cenário, é possível observar que os resultados das práticas relatadas nos artigos entregues pelos alunos foram baseados em um conjunto de atividades que contemplaram os conhecimentos de gestão de projetos, de física (propriedades dos gases, Lei de Coulomb e termodinâmica), químicas (reações anaeróbicas) e matemática. Além disso, é possível inferir que os conhecimentos e resultados adquiridos durante as atividades interdisciplinares com os alunos do curso de engenharia de produção e elétrica foram satisfatórias e o percurso metodológico permitiu o engajamento dos educandos na execução dos protótipos. Por outro lado, é necessário desenvolver ferramentas que tornem as avaliações menos intuitivas e mais qualitativas, além de um sistema que evidencie a integração de cada disciplina e, ainda, uma necessidade de definir critérios para um processo de avaliação sistêmica que permita uma análise mais completa dos resultados dos projetos interdisciplinares.

REFERÊNCIAS:

ARAUJO, M.M; XAVIER, L. A.; RODRIGUES, C. F. Feira de Ciências no Padlet: Usos Tecnológicos aliado a Práticas Pedagógicas Transgressoras, Revista Tecnologias Educacionais, 2021.

BARBOSA NETO, P. F.; VERALDO JR., L. G.; DE ALMEIDA, B. Avaliação e melhoria do processo de fabricação da Cervejaria Helenita. II SIPET – Simpósio Internacional de Projetos em Engenharia e em Tecnologia. Lorena, São Paulo, 2017.

BIASUTTI, M., & EL-DEGHAIDY, H. (2014). Interdisciplinary project-based learning: an online wiki experience in teacher education. *Technology, Pedagogy and Education*, 24(3), 2014.

FRANZEN, B. A; SCHLICHTING, T.S.; HEINING, O. L. O. M. Engenheiros: Uma construção de múltiplas identidades. XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Gramado, RS, 2013.

GIL, A. C. Didática do ensino superior. São Paulo: Atlas, 2006.

POLUTNIK, J.; DRUZOVEC, M.; WELZER, T. Interdisciplinary projects—Cooperation of students of different study programs. In: EAEEIE Annual Conference (EAEEIE), Proceedings of the 24th. IEEE, 2013.

SANTOS, A. C. Práticas Interdisciplinares na Escola: um estudo de caso. 2021. p. 145. Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, 2021.

VERALDO JR., L. G.; DE ALMEIDA, B.; BARBOSA NETO, P. F. Semester interdisciplinary projects applied in industrial engineering graduation. Journal of Manegement and Technology, 2017.

CAPÍTULO 18

ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA PRODUÇÃO DE BIOHIDROGÊNIO ATRAVÉS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PRODUZIDOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL ⁷

Maele Costa dos Santos
Willian César Nadaleti

RESUMO

A transição energética para fontes limpas e renováveis de energia já é uma realidade, que está evoluindo a passos largos. Entre as opções energéticas disponíveis a bioenergia se destaca como um fonte promissora e abundante, principalmente pelo uso de resíduos agrícolas. Estes resíduos agrícolas são gerados em elevadas quantidades e possuem elevado potencial energético. Atualmente diversas pesquisas se intensificaram em relação a conversão das biomassas em produtos energéticos. Dentre tantas rotas, a produção de biohidrogênio por fermentação na ausência de luz, vem sendo estudada como rota, para a obtenção deste biocombustível valioso. Diante da enorme produção de produtos agrícolas da Região Sul do Brasil, principalmente pelo estados do RS e PR, este trabalho investigou o potencial de produção de biohidrogênio e energia utilizando palha de arroz, palha de milho, palha de soja e palha de trigo geradas nos estados e na Região Sul. As estimativas foram realizadas utilizando equações da literatura, bem como o teor de matéria seca e rendimentos da produção de biohidrogênio foram obtidos de pesquisas científicas. Demais dados utilizados foram obtidos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os resultados mostraram que a Região Sul possui elevado potencial de aproveitamento energético pelo biohidrogênio produzido, utilizando as palhas de soja e de milho, em que a palha de soja apresentou potencial de 16,72 PJ/ano, representando quase metade (46%) da produção de biohidrogênio em 3,36 bilhões de metros cúbicos, sendo os estados do RS e PR os principais responsáveis por estes resultados. Entretanto, pesquisas científicas, desenvolvimento de novos processos e rotas e aperfeiçoamento dos atuais devem ser realizados para que a conversão de biomassas em biohidrogênio seja eficiente e viável.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Agrícolas; Biomassa; Biohidrogênio; Potencial Energético.

INTRODUÇÃO

A mitigação das alterações climáticas é um dos maiores desafios da sociedade moderna, estando diretamente relacionado com o futuro sistema energético (POTRČ et al., 2021). O cenário ambiental mundial vem sofrendo um processo de mudança ao longo dos anos, devido a elevação dos preços dos combustíveis fósseis, o que motivou o desenvolvimento de novos estudos, processos tecnológicos e investimentos em energias renováveis como a eólica. O desenvolvimento de novas tecnologias a base de energias renováveis, a síntese e otimização de

⁷ Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS- FAPERGS

cadeias e redes de distribuição de energética de fontes renováveis em larga escala têm sido amplamente estudadas nestes últimos anos (De Souza et al., 2014; POTRČ et al., 2021). Além da problemática geopolítica pela utilização dos combustíveis fósseis e sua disponibilidade finita, a emissão de gases de efeito estufa em elevadas quantidades tem acelerado o aquecimento global, os impactos ambientais e pressionado os países para mudanças rápidas para fontes limpas e renováveis de energia.

Como uma fonte de energia limpa e renovável, a bioenergia é uma das alternativas mais promissoras em substituição aos combustíveis fósseis. Biomassas lignocelulósicas possuem grande potencial para produção de bioenergia, mas sua estrutura recalcitrante e heterogênea limita sua aplicação. A tecnologia de pré-tratamento oferece uma solução eficaz para fracionar os principais componentes da lignocelulose e liberar a celulose disponível. A matéria-prima obtida pode ser aplicada à bioconversão em energia, por exemplo, bioetanol, biogás, biohidrogênio, entre outros (ZHAO et al., 2022). O hidrogênio por exemplo, pode ser utilizado em células de combustível para produzir eletricidade, pode ser utilizado como um transportador de energia intermediário, podendo reagir com o carbono para formar combustíveis e matérias-primas contendo carbono com elevadas densidades volumétricas, o que melhora sua capacidade de armazenamento e transporte (MORTENSEN et al., 2020).

O biohidrogênio é uma fonte renovável e limpa de energia, limpa no que diz respeito às emissões de GEE e pode ser produzido a partir através de várias rotas tecnológicas, como a fermentação. A fermentação é um processo biológico, ecológico, e sustentável para a produção de biohidrogênio. O processo ocorre por meio da degradação anaeróbia em ausência de luz de um substrato rico em nutrientes (carboidratos) por microrganismos anaeróbios, produzindo assim o hidrogênio. A biomassa lignocelulósica é uma fonte de substrato abundante, viável economicamente e sustentável para a produção de biohidrogênio. Porém, devido a presença de lignina, é necessário que ocorra pré-tratamento do substrato e até mesmo adaptações reacionais para aumentar o rendimento da produção de biohidrogênio (BHATIA et al., 2021).

De acordo com Bundhoo (2019), a biomassa lignocelulósica e os resíduos, em geral, oferecem um elevado potencial para obtenção de bio-hidrogênio em escala global, devido à sua utilização em todo o mundo, bem como a geração abundante de biomassa lignocelulósica e resíduos gerados todos os anos. A biomassa lignocelulósica e os resíduos de forma geral incluem: resíduos agrícolas, resíduos orgânicos alimentares, resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, entre outros. Os resíduos agrícolas produzidos durante as colheitas, são os resíduos

orgânicos lignocelulósicos mais baratos e abundantes, dentre eles estão: palhas, cascas, bagaços, talos e espigas (REGINATTO e Antônio, 2015).

O Brasil de forma geral, é destaque mundial na produção de culturas agrícolas, especialmente a Região Sul do Brasil, composta pelos estados de Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), que juntos no ano de 2019 foram responsáveis por mais de 30% da produção agrícola nacional de cereais, oleaginosas e leguminosas, produzindo cerca de 77,2 milhões de toneladas destes. No ano de 2020, a safra de cereais, leguminosas e oleaginosas no Brasil foi estimada em uma produção de 254,1 milhões de toneladas, sendo 5,2% superior em relação a safra de 2019. A Região Sul se destaca pela produção de trigo, aveia e cevada principalmente pelo Paraná o maior produtor, seguido do Rio Grande do Sul (IBGE, 2021). O Rio Grande do Sul se destaca com a produção de soja, sendo estimado em 2021 com a produção de 20,4 milhões de toneladas, enquanto o Paraná foi estimado com 19,8 milhões de toneladas. Em relação a produção de milho a estimativa foi de 8,86 milhões de toneladas para o PR e de 4,4 milhões de toneladas par o RS. Em se tratando da produção de arroz RS e SC se destacam, com uma estimativa de produção para a safra de dezembro de 2021 de 8,3 e 1,2 milhões de toneladas respectivamente, correspondendo a mais de 80% da produção nacional (IBGE, 2022).

Contudo, o presente trabalho tem por objetivo, avaliar o potencial energético da conversão dos resíduos agrícolas das colheitas de arroz, soja, milho e trigo em biohidrogênio da Região Sul do Brasil, bem como realizar uma comparação entre os estados individualmente.

METODOLOGIA

Para estimar o potencial de produção de biohidrogênio da Região Sul utilizando biomassas agrícolas, foram escolhidas para este estudo a produção de 4 culturas principais: Arroz; Milho; Soja e Trigo. As estimativas das safras para dezembro de 2021 foram obtidas através do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística (LSPA) realizado pelo IBGE (2022). As biomassas utilizadas para estimativa do potencial de produção de biohidrogênio e energia foram: Palha de Arroz, Palha de Milho, Palha de Trigo e Palha de Soja. Estes resíduos, são gerados em uma determinada razão resíduo-produto (*RPR*) em relação a cultura colhida. É recomendado que após a colheita parte destes resíduos gerados permaneçam no campo para fertilizar e melhorar a qualidade do solo, sendo essa porcentagem indicada pelo fator de disponibilidade (*FD*).

O potencial de produção de biohidrogênio foi obtido das Equações (1) e o potencial energético advindo do uso do biohidrogênio produzido, foi obtido através da Equação (2) adaptadas de (BUNDHOO, 2019).

$$V = M \times RPR \times FD \times TS \text{ Content} \times Y \quad (1)$$

Onde: V é potencial de produção de biohidrogênio dos resíduos (m^3 /ano); M é a safra das culturas (ton/ano); $TS \text{ Content}$ é o teor de matéria seca do resíduo bruto (%); Y é o rendimento da produção de biohidrogênio através da fermentação dos resíduos agrícolas em ($L/Kg_{\text{biom seca}}$). A razão resíduo-produto (RPR) e o fator de disponibilidade (FD) das biomassas, foram obtidos através de EPE (2014), sendo, o o valor de FD de 40% para todas as palhas exceto para a palha de soja (30%). Os valores de rendimentos, bem como o teor de matéria seca foram obtidos a partir do estudo de revisão, realizado por BUNDHOO (2019). A Tabela 1 abaixo apresenta os valores de Y utilizados para estimar a produção de biohidrogênio.

Tabela 1: Rendimentos de biohidrogênio obtidos da literatura científica.

| Biomassa | Biohidrogênio | Y_H (L/Kg_{Bseca}) |
|----------------|--|------------------------------------|
| Palha de Arroz | Trat.: Alcalino/ácido (10% NH_4OH /121 °C/60 min, 1.0% H_2SO_4 /121 °C/50 min), 75°C, pH: 7,5 Inóculo: <i>Thermotoga neapolitana</i> (Nguyen et al., 2010) | 68,2 |
| Palha de Milho | Inóculo: Lodo de esgoto municipal (100°C-10min). T(op): 40°C, pH:5,5 (Li et al., 2018) | 80,1 |
| Palha de Trigo | Trat com ozônio (45min); 35°C; pH:6,0 Inóculo: Esterco de vaca e sed. Pasta (90°C, 20min) (Wu et al., 2013) | 87,4 |
| Palha de Soja | Trat.: ácido da palha 4% HCl. T:35°C (Han et al., 2012) | 60,2 |

Fonte: Adaptado de BUNDHOO (2019).

A Equação (2), apresenta o potencial energético final das biomassas pelo uso do biohidrogênio.

$$E = (V \times Hc \times \rho) / 10^{12} \quad (2)$$

Em que: E é o potencial energético anual dos resíduos (PJ/ano); $H\rho$ é a densidade do hidrogênio (kg/m^3), Hc é o poder calorífico inferior (kJ/kg) biohidrogênio e 10^{12} é um fator de conversão para a obtenção em petajoules.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta o potencial de produção de biohidrogênio V em m³/ano, para os três estados e para a região obtido da Equação (1).

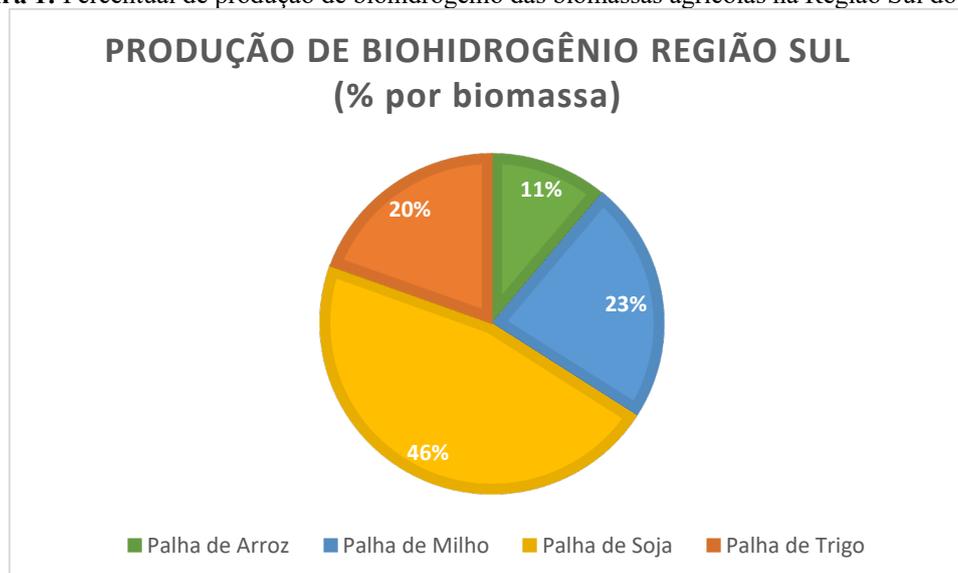
Tabela 2: Resultados obtidos das estimativas de produção biohidrogênio na Região Sul do Brasil e nas UFs.

| <i>Biomassa</i> | V (m ³ /ano) | | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Paraná | Santa Catarina | Rio Grande do Sul | Região Sul |
| <i>Palha de Arroz</i> | 5,87E+06 | 4,60E+07 | 3,91E+08 | 3,71E+08 |
| <i>Palha de Milho</i> | 4,48E+08 | 1,01E+08 | 2,22E+08 | 7,72E+08 |
| <i>Palha de Soja</i> | 7,26E+08 | 8,55E+07 | 7,46E+08 | 1,56E+09 |
| <i>Palha de Trigo</i> | 2,96E+08 | 3,04E+07 | 3,72E+08 | 6,54E+08 |
| Total | 1,48E+09 | 2,63E+08 | 1,73E+09 | 3,36E+09 |

Fonte: Autores (2022).

Pela Tabela 2 é possível observar que a Região Sul possui um potencial de conversão de biomassas agrícolas em biohidrogênio de 3,36 bilhões em metros cúbicos ao ano. O estado do Rio Grande do Sul se destaca com o potencial mais elevado de 1,73 bilhões de metros cúbicos ao ano, seguido por Paraná com 1,48 bilhões de metros cúbicos ao ano e por fim Santa Catarina com 263 milhões de metros cúbicos ao ano de biohidrogênio. Vale ressaltar que estas posições se alteram dependendo do rendimento das safras. O estado do Rio Grande do Sul ocupa liderança em relação ao potencial de produção de biohidrogênio por palha de arroz, palha de trigo e por palha de soja, 391; 372 e 746 milhões de m³/ano de H₂ respectivamente. Enquanto estado do Paraná se destaca com o potencial de produção de 448 e 726 milhões de m³/ano de H₂ com o uso da palha de milho e da palha de soja respectivamente. A Figura 1 apresenta a produção anual percentual da Região Sul de biohidrogênio em (%), utilizando os resíduos agrícolas de palha de arroz, milho, soja e trigo.

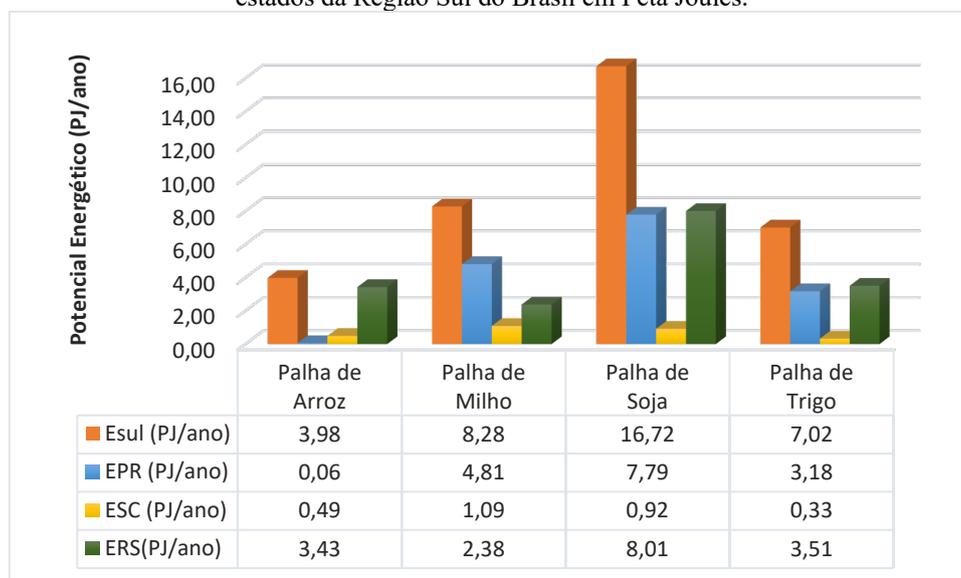
Figura 1: Percentual de produção de biohidrogênio das biomassas agrícolas na Região Sul do Brasil.



Fonte: Autores (2022).

A palha de soja e a palha de milho apresentaram os potenciais mais elevados de produção de biohidrogênio para a Região Sul do Brasil. Isso, ocorre devido a elevada produção e geração de resíduos dessas culturas principalmente nos estados do Rio grande do Sul e Paraná. Somente a palha de soja representou quase metade da produção (46%), o que indica seu alto potencial de aproveitamento energético, enquanto a palha de arroz apresentou o menor potencial da região de 11%, entretanto, a palha de arroz atualmente vem sendo aproveitada em diversos segmentos industriais e é gerada em elevadas quantidades no RS. A Figura 2 mostra o potencial energético (E) em peta joules por ano da conversão do biohidrogênio em energia através do uso da Equação (2), para a palha de arroz, palha de milho, palha de soja e palha de trigo para os três estados da Região Sul, PR, SC e RS em comparação com a capacidade total energética da região.

Figura 2: Comparação do potencial energético das biomassas agrícolas na Região Sul (Esul) com os demais estados da Região Sul do Brasil em Peta Joules.



Fonte: Autores (2022)

A palha de soja apresentou o potencial energético em peta joules ao ano mais elevado da Região Sul do país, sendo de 16,72 PJ mais que o dobro do potencial energético da palha de milho (8,28 PJ). Em um estudo realizado por Santos et al. (2021), os autores estimaram a produção de 5,22 bilhões de metros cúbicos ao ano de biohidrogênio e um potencial energético de 56,01 PJ/ano utilizando a palha de milho para o Brasil de forma geral. A Região Sul também possui potencial para o aproveitamento energético em relação a palha de milho e de trigo (7,02 PJ), sendo o estado do Rio Grande do Sul e Paraná os principais fornecedores destas biomassas. Além disso, a utilização de todos os resíduos pela região sul do país seria capaz de produzir 36 PJ de energia ao ano, o que seria equivalente a 10 TWh de energia. De acordo, com a Resenha

Mensal do Mercado de Energia Elétrica publicado pela Empresa de Pesquisa Energética em 2021, o Brasil foi responsável pelo consumo de 474.231 GWh de energia elétrica em 2020, enquanto a Região Sul consumiu cerca de 87.709 GWh de energia elétrica. Portanto, este potencial energético obtido através da produção de biohidrogênio, possui capacidade de reduzir as demandas da região e contribuir com a produção nacional de energia, amenizando as pressões sobre os combustíveis fósseis. Porém, é importante destacar, que este estudo é baseado em estimativas dos rendimentos mais elevados obtidos em pesquisas científicas laboratoriais, não levando em conta uma série de variáveis como perdas durante o processo, estagnação durante o processo de fermentação, escala de implantação a nível industrial entre outros aspectos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram o grande potencial da região sul para aproveitamento energético das biomassas agrícolas, principalmente pela palha de soja e milho, apresentando uma produção de biohidrogênio $7,72E+08$ e $6,54E+08$ (m^3 /ano), com um potencial energético de 16,72 e 8,28 (PJ/ano) respectivamente. Os estados do Rio Grande do Sul e Paraná lideram o aproveitamento energético das biomassas, principalmente devidos suas elevadas produções de soja e milho. O RS é o maior produtor de arroz do Brasil e apresentou a o maior potencial energético da conversão da palha de arroz em biohidrogênio, cerca de 3,43PJ/ano.

REFERÊNCIAS:

BHATIA et al., 2021. Produção de biohidrogênio renovável a partir de biomassa lignocelulósica usando fermentação e integração de sistemas com outras tecnologias de geração de energia. **Sci. Total Environ.** 765 (2021) , p. 144429.

BUNDHOO, Zumar M.A. Potential of bio-hydrogen production from dark fermentation of crop residues: a review. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [S.L.], v. 44, n. 32, p. 17346-17362, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.098>.

DE SOUZA, Gustavo Henrique Silva et al. Gestão energética e inovação sustentável: A formação de preço da energia eólica no Estado do Rio Grande do Norte. **RAI Revista de Administração e Inovação**, v. 11, n. 3, p. 255-280, 2014.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Inventário Energético de Resíduos Rurais**. Rio de Janeiro, 2014.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**: Base dezembro de 2020. Ano XIV, n. 160, jan. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-574/Resenha%20Janeiro%202021%20-%20Claro%20Final.pdf>. Acesso em: 18 fev.2022.

HAN, H., WEI, L., LIU, B., YANG, H., & SHEN, J. Otimização da produção de biohidrogênio a partir da palha de soja utilizando bactérias anaeróbias mistas. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 13200-13208, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola. 2021. Acessado em 20 jul. 2021. Online. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2020_dez.pdf, n. 2 p. 323-335.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE**. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola: dezembro de 2021. (2022). Acessado em 20 jan. 2022. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2021_dez.pdf

LI Y, ZHANG Z, ZHU S, ZHANG H, ZHANG Y, ZHANG T, ZHANG Q. Comparison of biohydrogen production yield capacity between asynchronous and simultaneous saccharification and fermentation processes from agricultural residue by mixed anaerobic cultures. *Bioresour Technol.* Jan; 247:1210-1214, 2018.

MORTENSEN, Anders Winther et al. The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system—A study on the Danish energy system. *Applied Energy*, v. 275, p. 115331, 2020.

NGUYEN, T. D. et al. Thermophilic hydrogen fermentation from Korean rice straw by *Thermotoga neapolitana*. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 35, n. 24, p. 13392-13398, 2010.

POTRČ, Sanja et al. Sustainable renewable energy supply networks optimization—The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 146, p. 111186, 2021.

REGINATTO, Valeria; ANTÔNIO, Regina Vasconcellos. Fermentative hydrogen production from agroindustrial lignocellulosic substrates. *Brazilian Journal of Microbiology [online]*. 2015, v. 46.

SANTOS et al. POTENCIAL ENERGÉTICO DAS PRINCIPAIS BIOMASSAS AGRÍCOLAS PRODUZIDAS NO BRASIL. In: XXIII ENPÓS Encontro de Pós-Graduação, 13, 2021, Pelotas, Anais eletrônicos [...]. Pelotas. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2021/EN_04337.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

WU, J.; UPRETI, S.; EIN-MOZAFFARI, F. Ozone pretreatment of wheat straw for enhanced biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38. 10270-10276, 2013.

ZHAO, Lei et al. Advances in pretreatment of lignocellulosic biomass for bioenergy production: challenges and perspectives. *Bioresour Technol.*, v. 343, p. 126123, 2022.

CAPÍTULO 19

RECUPERAÇÃO DE VOÇOROCAS NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE MINEIROS (GO): FINANCEIRAMENTE VIÁVEL E AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL

Wéric Silva Rezende
Clarice Neffa Gobbi
Cleber Vinicius Akita Vitorio
Carlos Eduardo Silva
Josimar Ribeiro De Almeida

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral verificar se a recuperação de voçorocas na zona rural do município de Mineiros, Estado de Goiás seria financeiramente viável e ambientalmente sustentável. O trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas e de levantamentos feitos com produtores rurais do município, que recuperaram voçorocas em suas propriedades com a supervisão técnica das Faculdades Integradas de Mineiros e de dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Mineiros. Foram traçadas duas vertentes, sendo a primeira, os prejuízos (financeiros) que as terras com voçorocas trazem aos produtores rurais da região e a segunda, os custos para se recuperar estas terras com voçorocas, de modo que as mesmas se tornem ambientalmente sustentáveis. Nesta segunda fase também levou em consideração o plantio consorciado de espécies típicas do cerrado, ao entorno da voçoroca, com fins comerciais. Na análise das duas vertentes foi comprovado que a recuperação de voçorocas é financeiramente viável e ambientalmente sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: recuperação de voçorocas, plantio consorciado, financeiramente viável e ambientalmente sustentável.

INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas das propriedades rurais do município de Mineiros, Estado de Goiás, é o uso incorreto do solo, deixando assim o mesmo mais suscetível a processos de desertificação e erosivos. A maior parte dos solos da região são do tipo neossolos quartzarênicos, de formação botucatu e com grande teor de silte e areia.

Os processos erosivos, do tipo voçorocas, são gerados principalmente através de práticas incorretas de manuseio do uso do solo, associado a solos de maior potencial de se ocorrer processos erosivos, ou seja, solos com grande teor de silte e areia (Silva *et al.*, 2021).

Valorar o déficit econômico das propriedades rurais do município de Mineiros, devido à presença de voçorocas nas mesmas e calcular os custos para recuperar estas voçorocas de modo que estas áreas se tornem ambientalmente sustentável é o principal objetivo deste trabalho. A valoração da perda econômica das propriedades rurais, devido à presença de

voçorocas, se ateve a desvalorização do imóvel, a perda de solo e a terra improdutiva (para a agricultura).

Os custos para se recuperar voçorocas tiveram como base os custos para recuperar a voçoroca em si e a área ao seu entorno (sua bacia de contribuição), que tem influência direta no processo erosivo da voçoroca. Além dos custos para recuperar a voçoroca e sua área ao entorno foi calculado também o custo para se fazer o plantio de modo sustentável de espécies do cerrado, com fins lucrativos, visando à produção de frutos.

Os custos para a recuperação das voçorocas podem até ser em parte ou integral custeados com recursos do município, através do fundo municipal de meio ambiente. As áreas de voçorocas que se tornaram, após intervenção do homem, áreas recuperadas e consideradas assim ambientalmente sustentável. O uso da terminologia ambientalmente sustentável se da ao fato da regeneração vegetal nativa no interior da voçoroca e principalmente ao plantio consorciado (em específico de Baru, Pequi e Mangaba) na área da sua bacia de contribuição (da voçoroca), de espécies frutíferas nativas do cerrado e com valor comercial.

A recuperação de voçorocas traz diversos benefícios ao produtor rural e ao meio ambiente. Entre estes benefícios podemos citar a valorização do imóvel rural, aumento de renda devido ao aproveitamento sustentável da comercialização de frutos do cerrado, a consciência ambiental positiva do produtor rural e extinção de um passivo ambiental da propriedade.

O estudo foi embasado em propriedade rurais do município de Mineiros (GO), porém o mesmo pode ser ampliado e com isso aplicado em outros municípios, com características geológicas semelhantes e com algumas devidas correções necessárias.

REVISÃO DE LITERATURA

Voçorocas em áreas rurais

Durante as décadas de 1960 e 1970 o Brasil passou por um intenso ‘surto’ desenvolvimentista em que a produção industrial e rural passou cada vez mais a adquirir o preceito do capitalismo sobre a produção em larga escala. Começou então a expansão das fronteiras agrícolas, avançando primeiramente na direção do cerrado, gerando sobre este bioma, sérios impactos negativos (Alves, 2007; Silva *et al*, 2021).

A erosão hídrica é umas das principais formas de degradação do solo, acarretando prejuízos de ordem econômica, ambiental e social. Segundo Bahia (1992), o Brasil perde anualmente cerca de 600 milhões de toneladas de solo devido à erosão. Além do prejuízo na

reposição dos nutrientes perdidos, outro grande problema decorrente é o assoreamento de corpos de água. O assoreamento afeta não só o abastecimento de água potável, à população rural e urbana, como as atividades agrícolas e industriais, e também, a produção de energia elétrica, tendo em vista que mais de 95 % da energia produzida no país provém de hidrelétricas (ANEEL, 2002).

Existem diferentes formas de erosão hídrica de acordo com o seu grau de carregamento de partículas e incisão no solo. Quando a perda de solo pela erosão se dá em camadas relativamente finas e homogêneas, às vezes até imperceptível, é chamada de erosão laminar. À medida que a água se concentra em determinados pontos devido às depressões no relevo do terreno, pode formar os sulcos, e podendo chegar a um estágio mais avançado que são as chamadas voçorocas (BRAUN, 1961). Existem outros termos utilizados como boçorocas, grotas, esbarrancados ou esbarrancamentos, dependendo da região, para denominar as ‘crateras’ formadas no terreno (Figura 02).

Dentre as formas de erosão, esta é a que causa consequências mais graves à população em termos de perda de área utilizável, assoreamento de rios, riachos e lagoas, e até morte de animais devido a acidentes. As causas com que a erosão pode chegar a esse estágio avançado são naturais, mas a ação do homem pode acelerar bastante o processo. Fatores como o relevo acidentado, chuvas concentradas em poucos meses do ano, características do solo, como: textura, consistência friável, baixo teor de matéria orgânica e pequena estabilidade de agregados, tendem a aumentar a susceptibilidade do solo à erosão.

Em relação ao relevo, sua influência está relacionada com as características de declividade (quando acentuada), comprimento de rampa longo e a forma da encosta, que favorecem maior velocidade, volume e concentração da enxurrada.

Quanto às chuvas, a erosão pode ser maior ou menor em função da sua duração, intensidade, distribuição e tamanho de gotas (Wischmeier; Smith, 1958). Em regiões onde sua distribuição é concentrada em poucos meses do ano, a quantidade de eventos de grande intensidade geralmente é maior, e conseqüentemente, mais alto é o índice de erosividade e os danos causados (Bertoni; Lombardi Neto, 1993).

A respeito das características do solo, aqueles que quando úmidos se desfazem com facilidade, são facilmente desagregados e transportados pelas chuvas, e isso está relacionado com maiores teores de silte e areia fina (Wischmeier *et al.*, 1971). Solos de textura mais

grosseira, como areia grossa e cascalho, podem ser também susceptíveis por não apresentarem agregação entre suas partículas (VENTURIM; BAHIA, 1998).

A agregação do solo (união de partículas formando pequenos torrões) é uma propriedade importante, sobretudo por estar relacionada à porosidade. Quanto maior o volume de poros grandes do solo, maior a infiltração de água das chuvas, e menor o escoamento superficial. A matéria orgânica influencia bastante a agregação, conferindo maior estabilidade aos agregados através da cimentação das partículas, e com isso, proporciona maior resistência à ação das gotas das chuvas e das enxurradas resultando em menor desestruturação e carreamento de solo (Verhaegen, 1984).

Vieira (citado por Fendrich *et al.*, 1988), descreve características de solos que apresentam suscetibilidade à formação de voçorocas: solos arenosos, ácidos, poucos coesivos, Horizonte A com cor vermelho intenso, com areia muito fina, siltosa e com pouca argila, predominando nos horizontes subjacentes, areias mais claras levemente rosadas ou amarelas com tendência a cor branca.

O tipo de rocha da qual o solo foi formado, ou seja, o material de origem, pode também influenciar na formação de voçorocas. Um exemplo disso são os solos formados em rochas do embasamento cristalino, em que os horizontes superficiais, sobretudo o B, são mais resistentes à erosão. No entanto, saprolitos, a camada ou horizonte C, com características da rocha matriz, podem apresentar alta erodibilidade, e conseqüentemente, formar voçorocas quando essa camada é exposta aos agentes erosivos (RESENDE; PARZANESE, citados por MORAIS *et al.*, 2004).

A ação do homem no sentido de acelerar o processo erosivo ocorre quando este retira a cobertura vegetal original do solo e realiza práticas que promovem sua desagregação como, aração, gradagem, calagem, adubação, redução da matéria orgânica, etc., e o expõe ao impacto das gotas das chuvas, devido a baixa cobertura do solo, que pode ocorrer também com o superpastejo, queimadas, etc.; com ausência de práticas de conservação do solo. Tudo isso associado à condições de relevo acidentado, em certos casos locais considerados como depressão permanente, acarreta o aumento do escoamento superficial da água das chuvas, e dependendo das características do solo, o processo erosivo pode evoluir ao longo do tempo formando as voçorocas.

A redução da taxa de infiltração de água pode estar relacionada, em alguns tipos de solos, como os argissolos, às características pedogenéticas de acúmulo de argila no horizonte

B (Bt), o que pode contribuir para evolução dos processos erosivos e formação de voçorocas. O uso e o manejo destes solos são de fundamental importância para evitar a formação de voçorocas.

No entanto, a formação de voçorocas pode ocorrer também pela falta de planejamento e gerenciamento das águas das chuvas como, construção de estradas, cercas, infraestruturas, com ordenamento da enxurrada em um único ponto sem estratégia de dissipação de energia, etc., (DAEE, 1989).

Todavia, esse não é o único processo de formação de voçorocas. Outro processo erosivo existente é o escoamento subsuperficial que forma fluxos concentrados na forma de túneis ou dutos, chamado de *piping*, que podem provocar o colapso da superfície situada acima destes (Guerra, 2003), podendo formar voçorocas em curto espaço de tempo.

No Brasil as áreas localizadas no Noroeste do Paraná, Planalto Central, Oeste Paulista, Campanha Gaúcha, Triângulo Mineiro e Médio Vale do Paraíba do Sul, são as mais críticas quanto à incidência de processos erosivos, e correspondem também, as áreas que têm sido mais estudadas devido a grande relevância em termos de perda de solo e redução da produtividade (Botelho; Guerra, 2003).

Em relação ao município de Mineiros, localizado no sudoeste goiano, estima-se que mais de 150 mil hectares estão nos níveis de vulnerabilidade à erosão alta a muito alta. Esses processos erosivos vêm causando o assoreamento de forma acelerada, dos rios da região, em especial as nascentes do rio Araguaia. De todos os municípios da região, Mineiros é um dos que mais se destaca com aproximadamente 20% de suas terras nessas categorias de severidade à degradação. Em Mineiros, situa-se também uma das maiores voçorocas do Brasil com 3,8km de extensão e com profundidade de aproximadamente 80m. Esta voçoroca se localiza na bacia do rio Araguaia, na divisa dos municípios de Mineiros e Portelândia (ambos no estado de Goiás), na região conhecida como Urtigão. Só para quantificar o tamanho desta voçoroca o volume de sedimentos que já saiu da mesma, corresponde a aproximadamente 5.700.000m³, o que é equivalente a 570.000 caminhões de aterro, o que daria para encher a aproximadamente quatro estádios do tamanho do Maracanã por inteiro. Só na região das nascentes do Araguaia foram catalogadas mais de 21 voçorocas de grande porte.

Como visto até aqui, a formação de voçorocas está relacionada principalmente com a evolução do processo erosivo em locais que apresentam suscetibilidade a esses fenômenos, e apresenta uma forte relação com o uso do solo. Nos locais em que o processo de voçorocamento

já se encontra iniciado, o que resta é tentar contê-lo da maneira mais eficiente e econômica possível, evitando assim, estragos ainda maiores.

A recuperação de voçorocas não é uma tarefa fácil e barata, principalmente se for pensar em correção de taludes com máquinas pesadas onde o custo da hora trabalhada é elevado. Entretanto, é possível estancar a evolução de voçorocas, reduzir a perda de solo e melhorar a paisagem, de forma eficiente e a custos relativamente baixos, fazendo uso somente de mão-de-obra familiar e materiais alternativos, com poucos insumos externos à propriedade rural.

Produção de frutos do cerrado

O Brasil possui cerca de trinta por cento das espécies de plantas e de animais conhecidas no mundo, que estão distribuídas em seus diferentes ecossistemas. É o país detentor da maior diversidade biológica do planeta. A região dos cerrados, com seus 204 milhões de hectares (aproximadamente 25% do território nacional) apresenta grande diversificação faunística e florística em suas diferentes fisionomias vegetais (Ávidos; Ferreira, 2000). A área core está localizada essencialmente no Planalto Central onde se encontra o divisor de águas das três grandes bacias hidrográficas do Brasil, a Amazônica, a do Paraná e a do São Francisco (Chaves, 2003).

Hoje, graças ao desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que viabilizaram a sua utilização em bases econômicas, a região dos cerrados é um dos mais importantes polos de produção de alimentos do país, contribuindo com mais de 25% da produção nacional de grãos alimentícios, além de abrigar mais de 40% do rebanho bovino do país (Ávidos; Ferreira, 2000).

Todavia, o desconhecimento do potencial de uso dos recursos naturais, o desrespeito às leis de proteção ambiental, as queimadas e a intensidade de exploração agrícola têm provocado prejuízos irreparáveis ao solo, à fauna, à flora e aos recursos hídricos, comprometendo a sustentabilidade desse ecossistema e colocando muitas espécies animais e vegetais em risco de extinção, principalmente as fruteiras nativas.

Fisionomicamente o cerrado se caracteriza pela existência de um extrato herbáceo formado basicamente por gramíneas e um extrato arbóreo/arbustivo de caráter lenhoso. A predominância de um ou outro extrato caracteriza as diferentes formações do cerrado desde o campo limpo, onde predomina o extrato herbáceo, até o cerrado, em que predomina o extrato arbóreo. Estas diferentes formações se alternam dentro da região, na dependência, principalmente, da fertilidade do solo, declividade e presença ou ausência de concreções. A formação mais comum é o chamado cerrado *stricto sensu*, uma formação do tipo savana, onde

convivem gramíneas com espécies lenhosas. Esta formação é a mais rica em espécies nativas frutíferas com interesse para aproveitamento alimentar. Estimativas da biodiversidade vegetal do cerrado, como um todo, apontam para um número de espécies vasculares de 5.000 a 7.000 espécies.

Com esta enorme biodiversidade criou-se, na região do cerrado, uma tradição de usos, em diferentes formas, dos recursos vegetais. Destacam-se pela importância na região, as espécies alimentícias, medicinais, madeireiras, tintoriais, ornamentais, além de outros usos. Das espécies com potencial de utilização agrícola, na região do cerrado, destacam-se as frutíferas. São algumas dezenas de espécies de diferentes famílias que produzem frutos comestíveis, com formas variadas, cores atrativas e sabor característico. Estes frutos são consumidos em diferentes formas pelas populações locais e constituem, ainda, uma importante fonte de alimentos para animais silvestres (pássaros, roedores, tatus, canídeos, etc.) e mesmo para o gado. Os animais silvestres funcionam como dispersores naturais de sementes, podendo-se admitir que o caráter atrativo e alimentício dos frutos resulta de um processo de coevolução entre plantas e animais, por um longo período de tempo (Vitorio & Almeida, 2021).

As fruteiras nativas ocupam lugar de destaque no ecossistema do cerrado e seus frutos já são comercializados em feiras e com grande aceitação popular. Esses frutos apresentam sabores *sui generis* e elevados teores de açúcares, proteínas, vitaminas e sais minerais e podem ser consumidos in natura ou na forma de sucos, licores, sorvetes, geleias etc. Hoje, existem mais de 58 espécies de frutas nativas dos cerrados conhecidas e utilizadas pela população (Ávidos; Ferreira, 2000).

Os frutos nativos do Cerrado (base de sustentação da vida silvestre e fonte de alimento para as populações rurais) possuem enorme valor nutritivo. Cem gramas de sementes de Baru fornecem 617 calorias e 26% de proteína. Em 100g de polpa de Pequi, encontramos 20 mil microgramas de vitamina A e 100g de polpa de Buriti contém 158mg de cálcio (Silva et al., 1994; Silva et al., 2001).

O consumo das frutas nativas dos cerrados consagrado pelos índios foi de suma importância para a sobrevivência dos primeiros desbravadores e colonizadores da região. Através da adaptação e do desenvolvimento de técnicas de beneficiamento dessas frutas, o homem elaborou verdadeiros tesouros culinários regionais, tais como licores, doces, geleias, mingaus, bolos, sucos, sorvetes e aperitivos. O interesse por essas frutas tem atingido diversos segmentos da sociedade, entre os quais se destacam agricultores, industriais, donas-de-casa,

comerciantes, instituições de pesquisa e assistência técnica, cooperativas, universidades, órgãos de saúde e de alimentação, entre outros.

O interesse industrial pelas frutas nativas dos cerrados foi intensificado após os anos 40. A mangaba, por exemplo, foi intensivamente explorada durante a Segunda Guerra Mundial, para exploração de látex. O babaçu e a macaúba foram bastante estudados na década de 70, em decorrência da crise de petróleo, e mostraram grandes possibilidades para utilização em motores de combustão, em substituição ao óleo diesel. O pequi já foi industrializado, sendo o seu óleo enlatado e comercializado. A polpa e o óleo da macaúba são utilizados na fabricação de sabão de coco. O palmito da guariroba, de sabor amargo, começou a ser comercializado em conserva recentemente, à semelhança do palmito doce. Os sorvetes de cagaita, araticum, pequi e mangaba continuam fazendo sucesso nas sorveterias do Distrito Federal e de Belo Horizonte (Ávidos; Ferreira, 2000). Em 1975, o IBGE registrou a produção de 33 toneladas de resina de Jatobá e 2.199 toneladas de amêndoas de Macaúba, em 1991, registrou 992 toneladas de fibra de Buriti e 2.201 toneladas de Pequi para a extração de óleo (Silva, et al., 2001).

Segundo Abramovay (1999), é possível explorar de maneira sustentável os recursos e o verdadeiro banco de germoplasma hoje existentes nos Cerrados. As fruteiras nativas dos Cerrados, tais como araticum, jatobá, piqui, mangaba, cagaita, buriti, constituem fontes importantes de fibras, proteínas, vitaminas, minerais, ácidos saturados e insaturados presentes em polpas e sementes, possuem enraizamento profundo o que permite um aproveitamento mais eficiente da água e dos minerais do solo comparativamente às lavouras de grãos. Ainda segundo Abramovay (1999), não dependem de sistemas de manejo apoiados em revolvimento intensivo do solo, oferecem proteção ao solo contra impactos de gotas de chuva e contra formas aceleradas de erosão hídrica e eólica, permitem consorciamento com outras culturas favorecendo o melhor aproveitamento da terra, podem ser exploradas sem forte alteração da biodiversidade.

Dentre as possibilidades atuais de utilização das fruteiras do cerrado, destacam-se: o plantio em áreas de proteção ambiental; o enriquecimento da flora das áreas mais pobres; a recuperação de áreas desmatadas ou degradadas; a formação de pomares domésticos e comerciais; e o plantio em áreas de reflorestamento, parques e jardins, e em áreas acidentadas. Nesse sentido, muitos agricultores e chacareiros já estão implantando pomares de frutas nativas dos cerrados e os viveiristas estão intensificando a produção de mudas (Ávidos; Ferreira, 2000).

Há grande potencial para a exportação dessas frutas, já que possuem um sabor *sui generis* e não são encontradas em outros países. Hoje, o licor de pequi já é exportado para o Japão e a amêndoa do baru é demandada pela Alemanha, mas existem ainda muitas possibilidades de exportação de outras espécies nativas.

É muito importante investir no trabalho de domesticação das fruteiras nativas dos cerrados para que possam ser cultivadas em lavouras comerciais. Dessa forma, evita-se o extrativismo predatório, ao mesmo tempo em que se conservam as espécies em seu habitat natural (Ávidos; Ferreira, 2000).

METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, foi feito um estudo, com o objetivo primeiro de valorar a perda econômica das propriedades rurais do município de Mineiros, que possuíam em suas terras voçorocas. Este estudo priorizou a desvalorização que as terras com voçorocas sofriram, comparando-a com outras terras da região com as mesmas características, a perda de solo que a propriedade rural teve e o custo deste solo perdido e também devido à área perdida (área improdutiva) com a voçoroca e o custo que esta área causa a propriedade rural, por se tratar de um espaço que não gera receitas. O objetivo segundo da pesquisa é de levantar os custos para se recuperar a voçoroca de forma que esta (considerando a área da voçoroca mais a área da sua bacia de contenção) volte a gerar receitas a propriedade rural. Nesta parte focou se o custo para recuperar a voçoroca em si e o custo para recuperar sua bacia de contenção de forma que ambas em longo prazo volte a gerar receitas a propriedade rural. Na bacia de contenção considerou também o plantio de espécies frutíferas do cerrado, com o objetivo desta área voltar a gerar receitas. Levantados os prejuízos que uma voçoroca traz a uma propriedade rural e também os custos para se recuperar a mesma, foi feita uma análise financeira e ambiental de modo a demonstrar a viabilidade de se recuperar uma voçoroca em uma propriedade rural.

Para o parâmetro de desvalorização das terras com voçorocas, foi considerada a planta de valores de áreas rurais do município de Mineiros (Tabela 02) e uma pesquisa em imobiliárias da cidade, para obter nestas, um coeficiente médio de desvalorização usado pelas mesmas, para avaliar a parte das terras com voçorocas. O parâmetro perda do solo foi calculado através do volume de solo perdido, devido ao processo de formação da voçoroca, multiplicado pelo seu custo unitário (custo para recuperar todo o solo perdido). Este valor unitário foi composto por itens da agência goiana de transporte e obras, de acordo com a Tabela 04. O parâmetro terra improdutiva, foi calculado comparando a renda por hectare de propriedade rural que é

produtiva, que tem como atividade rural, o plantio de soja (a cultura da soja representa o maior percentual de área em produtividade agrícola no município de Mineiros, na safra) e o plantio de milho (a cultura do milho representa o maior percentual de área em produtividade agrícola no município de Mineiros, na safrinha) e uma área improdutiva que não gera receita nenhuma, que é a área da voçoroca e seu entorno. A renda por hectare da área do plantio de soja (na safra) e de milho (na safrinha) foi feita levando em consideração os dados da federação da agricultura e pecuária do estado de Goiás (FAEG, 2011), de acordo com as Tabelas 05 e 06. Caso a voçoroca e sua área do entorno estivesse em área de reserva legal ou de preservação permanente, não haveria comparação, pois estas áreas também não geram receitas.

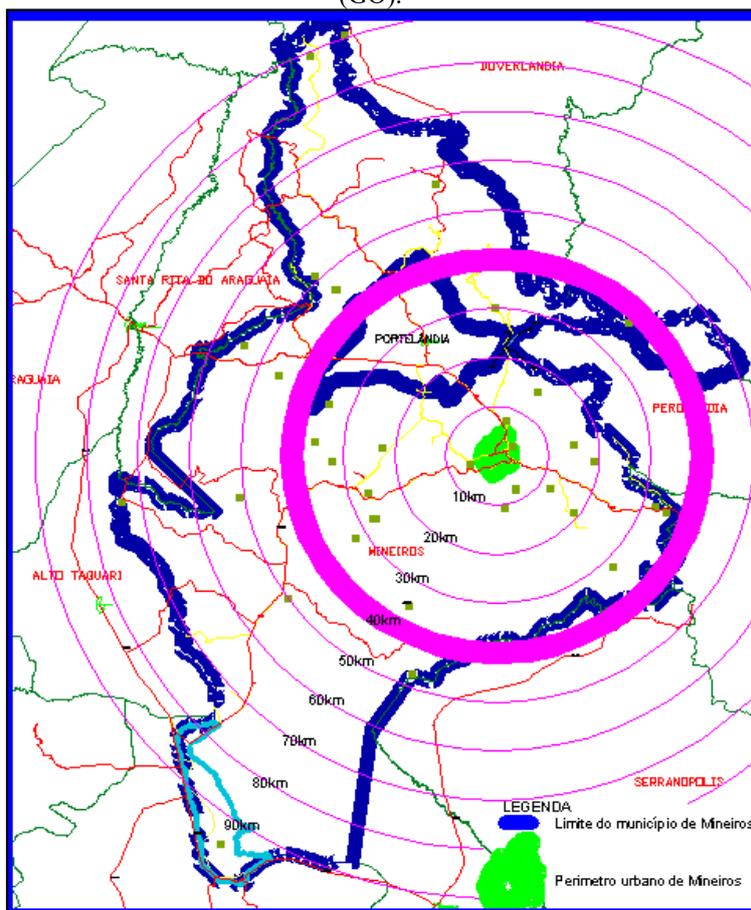
O custo para recuperar voçorocas foi obtido através de dados da Embrapa (Machado et al., 2006), através da Tabela 04. Os custos de plantio consorciado de espécies do cerrado (em específico o Baru, o Pequi e a Mangaba) e o lucro da produção destes frutos e castanhas, destas espécies, estão quantificados nas Tabelas 08 e 09.

RESULTADOS

O município de Mineiros tem 1210 propriedades rurais, totalizando estas, uma área de 627165 hectares, tendo então um tamanho médio de propriedade rural de 518,32 hectares. Deste total de área, 130000 hectares são de Lavouras temporárias (de plantio de soja, milho, algodão e outros), o que corresponde a aproximadamente 20% de toda a área pertencente às propriedades rurais do município (IBGE, 2011).

De acordo com dados da prefeitura municipal de Mineiros, devido ao tamanho territorial do município a média da distancia, entre o centro da cidade e as propriedades rurais do município, é de 40 km (Figura 01).

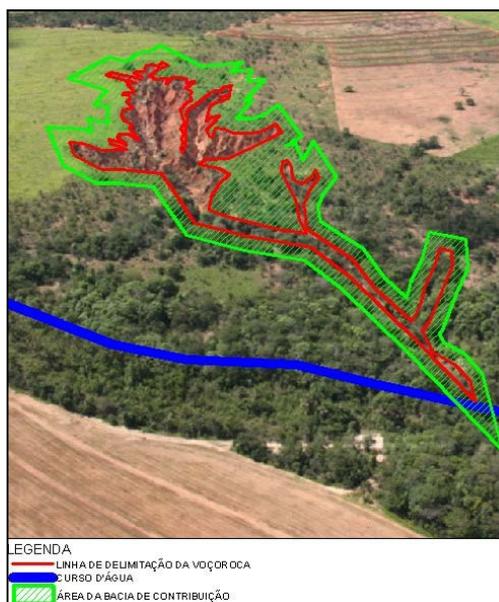
Figura 01: Mapa de distancias entre a urbe e a zona rural do município de Mineiros (GO).



Fonte: Helium Corp Engenharia.

De acordo com a prefeitura municipal de Mineiros, existem hoje no município, 165 voçorocas catalogadas. Nesta catalogação foram apenas consideradas voçorocas com área superior a 2000m². Vale ressaltar que segundo dados da própria prefeitura, a área total que contribui (bacia de contribuição) para a existência e expansão da própria voçoroca é de duas a até dez vezes maior, que a área da voçoroca em si, isto para as voçorocas catalogadas no município, como mostra a Tabela 01. Esta bacia de contribuição é definida pela área entorno da voçoroca e que contribui diretamente para a evolução da mesma, sendo uma área que não é aproveitada para a agricultura. A área da bacia de contribuição é offset de 30m do perímetro da voçoroca (Figura 02).

Figura 02: Exemplo de uma voçoroca e seu entorno (sua bacia de contenção).



Fonte: Helium Corp Engenharia.

Estas voçorocas catalogadas têm profundidade máxima de 9,3m à até 78m e uma profundidade média de 5,2m a até 15,9m. A profundidade media foi obtida através de medidas de altura, apenas no eixo das ramificações e do corpo da voçoroca, considerando três pontos de medida de altura, para cada uma das ramificações e para o corpo da voçoroca. Os principais dados da tipologia da voçoroca seguem na tabela abaixo.

Tabela 01: Principais características das voçorocas do município de Mineiros (GO).

| VOÇOROCAS TAMANHO (m ²) | TAMANHO MÉDIO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO (ha) | PROFUNDIDADE E MÁXIMA (m) | PROF. MÉDIA (m) | QUANTIDADE CATALAGODAS |
|-------------------------------------|---|---------------------------|-----------------|------------------------|
| A | 2000 a 3000 | 0,55 | 9,3 | 45 |
| B | 3001 a 4000 | 0,83 | 12,6 | 32 |
| C | 4001 a 5000 | 1,1 | 20,1 | 26 |
| D | 5001 a 10000 | 2,4 | 22,9 | 36 |
| E | Acima de 10000 | 6,1 | 78,0 | 26 |

Fonte: Prefeitura Municipal de Mineiros.

Para o estudo consideramos para parâmetro uma propriedade media do município de Mineiros com área total de 500 ha em campo e a uma distancia de 40 km do centro da cidade, sendo desta área 100 ha de reserva legal, 50 ha de área de preservação permanente e as 350ha restante, de lavoura.

Para o parâmetro desvalorização da terra foi utilizado dados da planta de valores da zona rural do município de Mineiros (Tabela 02). Esta tabela é a tabela usada pelo município de Mineiros para calculo do imposto territorial rural (ITR) e seus valores são em função da

tipologiado solo da região e da distancia da propriedade rural ao centro da cidade, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 02: Planta de valores da zona rural do município de Mineiros (GO).

| TIPOLOGIA DO SOLO | DISTÂNCIA DA URBE (km) | MENOR VALOR | VALOR REGULAR | MAIOR VALOR |
|-----------------------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| ÁREA DE CAMPO BRUTA | até 10 | R\$ 1.785,56 | R\$ 2.499,79 | R\$ 3.500,00 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 1.373,51 | R\$ 1.922,91 | R\$ 2.697,76 |
| | acima de 30 | R\$ 1.056,18 | R\$ 1.478,65 | R\$ 2.069,74 |
| ÁREA DE CAMPO FORMADA | até 10 | R\$ 2.381,38 | R\$ 3.334,32 | R\$ 4.668,04 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 1.830,33 | R\$ 2.564,20 | R\$ 2.761,23 |
| | acima de 30 | R\$ 1.408,56 | R\$ 1.972,17 | R\$ 2.697,76 |
| ÁREA DE CAMPO EM LAVOURA | até 10 | R\$ 2.976,25 | R\$ 4.166,95 | R\$ 5.834,11 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 2.289,50 | R\$ 3.205,49 | R\$ 4.487,12 |
| | acima de 30 | R\$ 1.760,93 | R\$ 2.465,69 | R\$ 3.451,77 |
| ÁREA DE CAMPO EM RESERVA | até 10 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| | acima de 30 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| ÁREA DE CULTURA BRUTA | até 10 | R\$ 2.743,23 | R\$ 3.841,09 | R\$ 5.280,91 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 1.828,19 | R\$ 2.559,46 | R\$ 3.583,44 |
| | acima de 30 | R\$ 1.219,11 | R\$ 1.706,94 | R\$ 2.389,91 |
| ÁREA DE CULTURA FORMADA | até 10 | R\$ 3.657,33 | R\$ 5.119,88 | R\$ 7.358,23 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 2.483,22 | R\$ 3.413,88 | R\$ 4.778,87 |
| | acima de 30 | R\$ 1.625,48 | R\$ 2.276,24 | R\$ 3.187,49 |
| ÁREA DE CULTURA EM LAVOURA | até 10 | R\$ 4.508,91 | R\$ 7.515,48 | R\$ 12.527,38 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 3.807,94 | R\$ 6.341,83 | R\$ 10.571,31 |
| ÁREA DE CULTURA | acima de 30 | R\$ 3.196,96 | R\$ 5.167,24 | R\$ 8.619,97 |
| CHAPADÃO EM LAVOURA | | | | |
| ÁREA DE CAMPO EM RESERVA | até 10 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| | entre 10 e 30 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| | acima de 30 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 | R\$ 678,86 |
| ÁREA EM TORNO DO PERIMETRO URBANO | ---- | R\$ 52.610,26 | R\$ 65.762,83 | R\$ 82.202,35 |

Fonte: Prefeitura Municipal de Mineiros.

O valor desta propriedade (não considerando nenhum tipo de benfeitoria na propriedade, somente o valor da terra), citada acima, caso a mesma não tivesse nenhum passivo ambiental (em específico - voçorocas), seria de R\$ 964.820,50 e se a mesma propriedade possuísse um passivo ambiental, em específico uma voçoroca de 5000m² e mais 10000m² como área ao entorno da voçoroca que teve contribuição direta na sua formação, totalizando assim a voçoroca mais sua bacia de contribuição 15000m², o valor da terra variaria de R\$ 963802,21 a R\$ 961.121,97 conforme a tabela abaixo.

Tabela 03: Exemplo de valores, para 500 ha de terra, em função da localidade da voçoroca na propriedade.

| VOÇOROCA 15000m ² | | VALORES DAS TERRAS EM ÁREA DE CAMPO | | | | |
|------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|----------------|
| Constitui | Local | Desvalorização | Valor Reserva Legal (100ha) | Valor APP (50ha) | Valor Lavoura (350ha) | Valor Total |
| Não | - | - | R\$ 67.886,00 | R\$ 33.943,00 | R\$ 862.991,50 | R\$ 964.820,50 |
| Sim | Reserva Legal | R\$ (1.018,29) | R\$ 67.886,00 | R\$ 33.943,00 | R\$ 862.991,50 | R\$ 963.802,21 |
| Sim | APP | R\$ (1.018,29) | R\$ 67.886,00 | R\$ 33.943,00 | R\$ 862.991,50 | R\$ 963.802,21 |
| Sim | Lavoura | R\$ (3.698,54) | R\$ 67.886,00 | R\$ 33.943,00 | R\$ 862.991,50 | R\$ 961.121,97 |

Fonte: Silva et al. (2021)

Esta desvalorização da terra por possuir um passivo ambiental (em específico neste estudo de caso – voçoroca e sua área de entorno com 15000m²), se afirmou após pesquisa em três imobiliárias do município de Mineiros. Não existe um coeficiente minorizador para avaliar o valor das áreas com voçorocas. De acordo com estas, estas áreas não tem valor comercial, sendo assim o valor de uma área com voçoroca é zero reais por unidade de área, em suas avaliações para venda ou compra de propriedades rurais, como mostra na Tabela 03.

O parâmetro perda de solo, que relata o prejuízo que o proprietário teve, por ter perdido solo durante todas as fases do processo erosivo. Considerando a propriedade rural acima citada como referencia que tem em suas terras uma voçoroca de 5000m² e uma profundidade média de 9,0m. Neste caso, para acharmos o volume de solo que foi perdido devido ao processo erosivo, vamos considerar que a seção de qualquer ramificação da voçoroca fosse um trapézio, onde sua altura média é 9,0m e a base menor média do trapézio são 2,0m e a base maior média do trapézio é de 30,0m.

Temos então a seguinte formula: $A = ((B + b)/2) \times H$, portanto $A = ((30 + 2)/2) \times 9 = 144m^2$, onde “A” é a área do trapézio, “B” é a base maior do trapézio, “b” é a base menor do trapézio e “H” é a altura entre a base menor e a maior do trapézio.

Se a área total da voçoroca é de 5000m² e sua largura média é de 30m, portanto esta voçoroca tem um comprimento médio de 166,67m. Como a área da seção média da voçoroca é de 144m² e seu comprimento médio é de 166,67m, logo o volume de solo perdido durante todas as fases do processo erosivo é de aproximadamente 24000m³.

O custo para aterro (neste estudo de caso, recomposição de solo), segundo dados da agencia goiana de transportes e obras é de R\$ 13,51/m³, como demonstra a tabela abaixo. Sendo assim o custo para repor todo o solo perdido durante todas as fases do processo erosivo é de aproximadamente R\$ 324.240,00.

Tabela 04: Valor para adquirir 1 m³ de terra.

| CÓDIGO | SERVIÇO | UNID. | QTDADE | VALOR UNITÁRIO | TOTAL |
|--------------------------------|---|----------------|--------|----------------|--------------|
| 40025 | Escavação e carga de material de 1ª cat | m ³ | 1 | 4,68 | 4,68 |
| 40055 | Transporte mat. 1º e 2º cat(dt <= 1km) | m ³ | 1 | 6,77 | 6,77 |
| 2057 | Terra natural | m ³ | 1 | 2,06 | 2,06 |
| Total por m³ | | | | | 13,51 |

Fonte: AGETOP.

Quanto ao parâmetro de área improdutiva, pois a área onde está localizada a voçoroca e sua bacia de contenção, não tem aproveitamento agrícola, sendo assim, esta área não gera nenhuma receita a propriedade rural. De acordo com a Federação Goiana da Agricultura e

Pecuária do Estado de Goiás (FAEG, 2011), no ano de 2010, o rendimento médio por hectare de uma lavoura de soja é de R\$ 652,20, conforme mostra a tabela 05 e o rendimento médio por hectare no plantio de milho safrinha é de R\$ 444,38 conforme a tabela 06.

Nestas condições de apenas uma safra de soja e uma safrinha de milho ao ano e considerando também a área improdutiva, como sendo a área da voçoroca e de sua bacia de contribuição, que é de 15000m², o prejuízo do produtor rural seria de R\$ 1.644,87 ao ano, por não estar plantando nesta área (de 1,5ha). Caso a voçoroca estivesse em área de reserva legal ou de preservação permanente, consideraremos então que esta área é um local que não geraria retornos financeiros ao proprietário rural.

Tabela 05: Lucro por hectare para o plantio de soja (safra).

| RECEITA | | | | |
|--|--------------|-----------------------|------------|-----------------|
| DESCRIÇÃO DA RECEITA | UNID. | VALOR UNITÁRIO | QTD | TOTAL |
| Venda do produto | R\$/há | 2.267,50 | 1 | 2.267,50 |
| SUBTOTAL DAS RECEITAS | | | | 2.267,50 |
| CUSTOS E DESPESAS | | | | |
| DESCRIÇÃO DOS CUSTOS | UNID. | VALOR UNITÁRIO | QTD | TOTAL |
| Custeio de pré-plantio | R\$/ha | 111,95 | 1 | 111,95 |
| Despesas de plantio | R\$/ha | 459,14 | 1 | 459,14 |
| Despesas de condução da lavoura | R\$/ha | 277,31 | 1 | 277,31 |
| Despesas de colheita | R\$/há | 133,55 | 1 | 133,55 |
| Despesas pós-colheita | R\$/ha | 30,00 | 1 | 30,00 |
| Despesas financeiras | R\$/ha | 109,21 | 1 | 109,21 |
| Depreciação de maquinas e equipamentos | R\$/ha | 142,15 | 1 | 142,15 |
| Remuneração esperadas sobre o capital fixo | R\$/ha | 156,99 | 1 | 156,99 |
| Renda de fatores fixos – terra | R\$/ha | 195,00 | 1 | 195,00 |
| SUBTOTAL CUSTOS E DESPESAS | | | | 1.615,30 |
| LUCRO POR HECTARE (R\$/ha) | | | | 652,20 |

Fonte: FAEG (2011).

Tabela 06: Lucro por hectare para o plantio de milho (safrinha).

| RECEITA | | | | |
|--|--------------|-----------------------|------------|-----------------|
| DESCRIÇÃO DA RECEITA | UNID. | VALOR UNITÁRIO | QTD | TOTAL |
| Venda do produto | R\$/há | 2.460,00 | 1 | 2.460,00 |
| SUBTOTAL DAS RECEITAS | | | | 2.460,00 |
| CUSTOS E DESPESAS | | | | |
| DESCRIÇÃO DOS CUSTOS | UNID. | VALOR UNITÁRIO | QTD | TOTAL |
| Custeio de pré-plantio | R\$/ha | 38,07 | 1 | 38,07 |
| Despesas de plantio | R\$/ha | 662,56 | 1 | 662,56 |
| Despesas de condução da lavoura | R\$/ha | 662,00 | 1 | 662,00 |
| Despesas de colheita | R\$/há | 100,19 | 1 | 100,19 |
| Despesas pós-colheita | R\$/ha | 15,53 | 1 | 15,53 |
| Despesas financeiras | R\$/ha | 70,07 | 1 | 70,07 |
| Depreciação de maquinas e equipamentos | R\$/ha | 108,83 | 1 | 108,83 |
| Remuneração esperadas sobre o capital fixo | R\$/ha | 163,37 | 1 | 163,37 |
| Renda de fatores fixos – terra | R\$/ha | 195,00 | 1 | 195,00 |
| SUBTOTAL CUSTOS E DESPESAS | | | | 2.015,62 |
| LUCRO POR HECTARE (R\$/ha) | | | | 444,38 |

Fonte: FAEG (2011).

Quanto ao procedimento para se recuperar uma área degradada, consiste basicamente

no controle da erosão na área à montante ou cabeceira da encosta, retenção de sedimentos na parte interna da voçoroca com práticas simples e materiais de baixo custo, e por último, a revegetação das áreas de captação (cabeceira) e interna da voçoroca com espécies vegetais que consigam se desenvolver adequadamente nesses locais (Machado et al., 2006).

A Tabela 07 apresenta os custos envolvidos nas atividades de implantação de um projeto de recuperação de voçoroca no município de Pinheiral (RJ), contida em uma área de aproximadamente 15.000 m², feito pela EMBRAPA, e que foi tomado como referencia em nosso estudo. O custo para se recuperar a voçoroca incluindo a área do entorno da mesma foi de R\$ 10.904,10 (Machado et al., 2006).

Tabela 07: Custo para recuperar voçoroca em sua área entorno totalizando ambas 15000m².

| ESPECIFICAÇÃO | UNID | QTD | VALOR UNITÁRIO | VALOR TOTAL |
|--|------|-----|----------------|-------------|
| Insumos | vb | 1 | 3.896,25 | 3.896,28 |
| Mão de obra | vb | 1 | 7.007,85 | 7.007,85 |
| TOTAL (voçoroca de 15000m ²) | | | | 10.904,1 |

Fonte: Machado et al. (2006).

Considerando que a localização da voçoroca e seu entorno fossem em área agricultável, o seu entorno no nosso estudo com área de 10000m², fosse utilizado para o plantio consorciado de espécies do cerrado (em específico Baru, Pequi e Mangaba), para a produção de frutos e castanhas. Os principais dados e os custos, as despesas e as receitas da produção de espécies frutíferas do cerrado estão nas tabelas abaixo (tabela 08 e 09).

Tabela 08: Dados, custos e receitas da produção de Baru, Pequi e Mangaba.

| PRODUTO | TEMPO PARA 1ª PRODUÇÃO (anos) | CUSTOS E DESPESAS PRÉ-COLHEITA (HÁ) | CUSTOS E DESPESAS POS COLHEITA (ha/ano) | RECEITA (ha/ano) | TEMPO EM PRODUÇÃO |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|---|------------------|-------------------|
| Baru | 5 | R\$ 6.344,00 | R\$ 17.025,00 | R\$ 26.188,24 | 10 |
| Pequi | 5 | R\$ 6.555,00 | R\$ 16.559,00 | R\$ 26.470,59 | 10 |
| Mangaba | 5 | R\$ 4.305,00 | R\$ 8.455,00 | R\$ 15.975,00 | 10 |
| Consórcio | 5 | R\$ 5.734,67 | R\$ 14.013,00 | R\$ 22.811,94 | 10 |

Fonte: Silva et al. (2021).

Tabela 09: Custo total e lucros da produção de Baru, Pequi e Mangaba.

| PRODUTO | CUSTO TOTAL DO INVESTIMENTO | LUCRO (ha/ano) |
|-----------|-----------------------------|----------------|
| Baru | R\$ 12.986,80 | R\$ 9.163,24 |
| Pequi | R\$ 13.418,74 | R\$ 9.911,59 |
| Magaba | R\$ 8.812,76 | R\$ 7.520,00 |
| Consórcio | R\$ 11.739,43 | R\$ 8.864,94 |

Fonte: Silva et al. (2021).

DISCUSSÕES

Foram analisados então os prejuízos que as terras com voçorocas trazem aos produtores rurais da região e os custos para se recuperar as voçorocas e o seu entorno e de modo que as mesmas se tornem ambientalmente sustentáveis. Como forma de aproveitar a área do entorno da voçoroca foi feito também o levantamento dos custos e despesas, receitas e lucros para o plantio consorciado de espécies frutíferas do cerrado.

Os principais prejuízos financeiros que o produtor rural teria na fazenda de 500 ha, ondena mesma há uma voçoroca de 5000m² e uma bacia de contribuição entorno da voçoroca de 10000m², onde somam 15000m² de área inutilizada, foram:

a) A desvalorização das terras da propriedade rural, que neste caso desvalorizou de R\$ 1.018,29, para uma voçoroca com sua bacia de contribuição em local de reserva legal ou em área de preservação permanente à R\$ 3.698,53, caso estivesse em área de lavoura;

b) O custo que acarretaria ao produtor rural caso o mesmo fosse repor todo o solo que foi perdido durante todas as fases do processo erosivo, que foi de aproximadamente 24.000m³ e que daria um valor de R\$ 324.240,00;

c) A perda por não estar aproveitando a área onde está a voçoroca e seu entorno (bacia de contribuição), não gerando ali nenhuma receita, e tendo assim um prejuízo por não poder plantar uma safra de soja e uma safrinha de milho nessa área de R\$ 1644,87 por ano, para uma voçoroca localizada em área de lavoura. Caso a voçoroca estivesse em área de reserva legal ou de preservação permanente este valor seria R\$ 0,00.

O custo para recuperar uma voçoroca de aproximadamente 15000m² é de R\$10904,10 (MACHADO et al., 2006). O custo de recuperar a voçoroca e sua área no entorno, neste estudo não leva em conta a reposição do solo perdido, durante todas as fases do processo erosivo, que foi de aproximadamente 24.000m³. Para recuperar uma voçoroca, levando em consideração a recomposição do solo perdido, de modo que a mesma restabeleça sua topografia original é financeiramente inviável, neste caso, o custo para isto seria de R\$ 324.240,00. Os custos e as despesas para se implantar na área de entorno da voçoroca (10000m² ou 1ha) o plantio consorciado de espécies frutíferas do cerrado é de aproximadamente R\$ 11.739,43 e o retorno previsto (lucro líquido) é de R\$ 8.864,94 ao ano.

Caso a voçoroca e sua área de entorno (bacia de contribuição) estivessem em área de lavoura, onde os prejuízos financeiros devido à desvalorização da terra (poderia chegar ao valor de R\$ 3.698,53) e a improdutividade agrícola (poderia chegar ao valor de R\$ 1644,87 ao

ano) seriam os maiores. Estes prejuízos financeiros, mesmo sendo os maiores, não são muito grandes se considerarmos o valor venal de toda a terra (500 ha - R\$ 964.820,50) e o lucro de toda a produção anual da área agricultável da fazenda (350 ha - R\$ 383.803,00), chegando em percentual a desvalorização da terra a 0,38% e da perda de improdutividade da área agricultável a 0,43% por ano.

A soma dos custos e despesas para recuperar a voçoroca e sua bacia de contenção (R\$ 10904,10) e a implantação do plantio consorciado de espécies frutíferas (R\$ 11.739,43) na área da bacia de contenção é de R\$ 22.643,53. O lucro anual líquido do plantio consorciado de espécies frutíferas é de R\$ 8.864,94 e representa um percentual anual de retorno sobre o valor total investido (recuperação de voçoroca e bacia de contenção e plantio consorciado de espécies frutíferas na bacia de contenção) de 39,15%.

CONCLUSÕES

Este estudo mostra que para o padrão de propriedade rural do município de Mineiros, onde as mesmas têm em média uma área de 500 hectares, as perdas financeiras, levando em consideração uma voçoroca média (5000m² de voçoroca mais 10000m² de área inutilizada pela agricultura ao entorno, totalizando 15000m² de área improdutivas) na propriedade são muito baixas. Estas perdas financeiras chegaram a um valor percentual referente à desvalorização da terra de 0,38% e da perda de improdutividade da área agricultável de 0,43% por ano. O prejuízo maior ao produtor rural é a perda do solo, que para este caso chegou a 24000m³, totalizando um valor para repor este solo de R\$ 324.240,00, o que seria inviável de ser feito financeiramente. Quanto ao custo para se recuperar a voçoroca e sua área de entorno e também os custos e despesas para se fazer o plantio consorciado de espécies frutíferas nativas do cerrado não são muito altos e o retorno financeiro é compensador. Os custos e despesas para fazer a recuperação da voçoroca e plantio ao seu entorno chegaram a R\$ 22.643,53 e o lucro anual a R\$ 8.864,94, tendo assim um retorno financeiro sobre o valor investido de 39,15%, sendo este, um ótimo retorno.

O processo erosivo é contínuo e duradouro se não tomadas as necessárias medidas técnicas. Mesmo uma erosão não gerando significativos prejuízos ao produtor rural, não é necessário que esta deixe de crescer a proporções gigantescas. Os custos e despesas para mitigar o impacto ambiental causado pela presença de erosões são baixos e os mesmos podem vir consorciados com estratégias que tragam de volta a aquela área, receitas e lucros expressivos (por unidade de área). Diante de todas as atuais tecnologias é praticamente incabível e

contraditório ter em uma propriedade rural um passivo ambiental de proporções gigantescas que é ao mesmo tempo tão fácil de solucionar e controlar

REFERÊNCIAS:

ABRAMOVAY, R.. **Moratória para os Cerrados: elementos para uma estratégia de agriculturasustentável**. São Paulo: Consórcio Atech, Museu Emílio Goeldi, 1999

ALVES, R. R.. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimentos deuma voçoroca**: estudo de caso na Fazenda Glória na zona rural de Uberlândia (MG). 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002.

ÁVIDOS, M. F. D.; FERREIRA, L. T.. Frutos dos Cerrados: preservação gera muitos frutos. **RevistaBiotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v.3, n.15, p.36-41, 2000.

BAHIA, V. G.; CURTI, N.; CARMO, D. N.. Fundamentos da erosão do solo. **Informe Agropecuário**, BeloHorizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do solo**. 2 ed. São Paulo: Ícone, 1993.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T.. Erosão dos solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T.**Geomorfologia do Brasil**. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.181-220.

BRAUN, W. A. G.. Contribuição ao estudo da erosão no Brasil e seu controle. **Revista Brasileira deGeografia**, Rio de Janeiro, v.23, p.591-642, 1961.

CHAVES, L. J.. **Domesticação e uso de espécies frutíferas do Cerrado**. Disponível em: <http://www.sbmp.org.br>. Acesso 20 fev. 2011.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas. SãoPaulo: DAEE/IPT, 1989.

FAEG. Federação da Agricultura do Estado de Goiás. **Custo de produção da soja**: safra 2010. Disponível em: <http://www.faeg.com.br>. Acesso 22 fev 2011.

FAEG. Federação da Agricultura do Estado de Goiás. **Custo de produção do milho**: safrinha 2010. Disponível em: <http://www.faeg.com.br>. Acesso 22 fev 2011.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M.. **Drenagem e controle da erosão urbana**. Curitiba: Ibrasa Champagnat, 1988.

GUERRA, A. J. T.. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.).**Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p.149-199.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações estatísticas de Mineiros, Goiás**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acesso 22 fev 2011.

MACHADO, R. L. ; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S.; Menezes, C. E. G. ; SOUZA, C. M. ; FRANCO, A.. **Recuperação de voçorocas em áreas rurais**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006 (Sistemas de Produção 4).

MINEIROS. Prefeitura Municipal de Mineiros. **Mineiros em dados**. Disponível em: http://www.mineiros.go.gov.br/home/#/mineiros_dados. Acesso em 23 fev 2011.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G.. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaise. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1055-1062, 2004.

SILVA, C. V. V.; GARCIA, P. A. A.; GARCIA, V. S.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.. Monitoramento da Comunidade de Abelhas (Hymenoptera:Apidae) na Área de Influência Direta da Via Expressa Transolímpica. **Revista Internacional de Ciências**, v.11, n.1 p.97-116, 2021.

SILVA, C. V. V.; GARCIA, P. A. A.; GARCIA, V. S.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.. Líneas metodológicas de evaluaciones de impacto ambiental. **Natural Resources**, v.11, n.1, p.124-133, 2021.

SILVA, D. B.; SILVA, J. A.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M.. **Frutas do Cerrado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G.. Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e sua susceptibilidade à erosão. In: LACERDA, V. L. A. Conservação de solos. **Informe Agropecuário**, BeloHorizonte, v.19, n.191, p.7-9, 1998.

VERHAEGEN, T. H.. The influence of soil properties on the erodibility of Belgian loamy soils: a study baseon rainfall simulation experiments. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v.9, p.499-507, 1984.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.26, n.5, p.189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.. Rainfall energy and its relationships to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v.39, p.285-291, 1958.

CAPÍTULO 20

PANORAMA GERAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM 120 MUNICÍPIOS DO MATO GROSSO

Larissa Rodrigues Turini
Victor Hugo Souza de Abreu
Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário constituem serviços essenciais, que até os dias atuais não estão disponibilizados de forma universalizada, apresentando intermitência, índices elevados de perdas, problemas de falta de manutenção e operação e, ainda não atendimento a muitos domicílios. A partir de 2007, os municípios brasileiros tiveram um novo desafio sob a Lei nº 11.445, que trouxe uma nova organização para a gestão do setor de saneamento básico, assumindo-a não só como a prestação dos serviços, mas também integrar o planejamento, a regulação, a fiscalização e o controle social. O Estado de Mato Grosso é distinto de outros estados brasileiros em relação ao sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário, pois, além de ter passado por um longo vazio institucional, é o único que possui seus sistemas completamente municipalizados. Cria-se assim a necessidade de avaliação dos sistemas de abastecimento do Estado. Com isso, este estudo tem como objetivo apresentar um panorama do sistema de abastecimento de água e esgoto. A área de estudo é composta por 120 municípios do Mato Grosso, com população inferior a 50.000 habitantes. Aplicou-se avaliações quantitativa e qualitativas, além da elaboração de mapas com o auxílio de ferramenta de georreferenciamento, para melhor visualização dos dados. Os resultados indicam que o sistema de abastecimento de água não atinge a universalização, porém 80% das cidades analisadas tem atendimento superior a 95% de cobertura, contudo, o maior problema encontra-se no sistema de esgotamento sanitário, em que 80% da população possuem sistema de tratamento individual, representando forte impacto muitas vezes negativo a saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Análise crítica. Esgotamento sanitário. Gestão. Abastecimento de água. Panorama.

INTRODUÇÃO

O saneamento básico é conceituado como um conjunto de serviços, instalações e infraestruturas que englobam quatro eixos do saneamento: abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas (Brasil, 2020). De acordo com informação do Trata Brasil (2017), 55% da população mundial utilizam serviço de saneamento gerenciados de forma inadequada. Leoneti *et. al* (2011) ainda aborda que as problemáticas iniciam com a incapacidade das famílias de baixa renda em pagar pelos serviços básicos de água e esgoto, tornando-se um assunto de crescente preocupação.

O Brasil, após o fim do PLANASA, passou por um longo período sem uma política pública que disciplinasse o planejamento, prestação dos serviços e a previsão de investimentos

que pudessem suprir as demandas crescentes, de água tratada e esgoto coletado e devidamente tratado, decorrente do intenso processo de urbanização ocorrido nas cidades brasileiras nas últimas décadas. Essa situação gerou um vazio institucional e total escassez de recursos provocando uma estagnação no setor, com reflexos até os dias atuais. Em 2007 foi instituído o marco regulatório, por meio da Lei nº 11.445/2007, que estabeleceu os princípios que devem orientar as políticas públicas de saneamento básico, que são: (i) a universalidade dos serviços como direito de todos; (ii) a equidade, com qualidade e integridade; (iii) às necessidades dos cidadãos, concomitante a participação e controle social; (iv) as ações do poder público a serviço dos interesses da população, sem perder de vista a intersectorialidade; (v) a integração das políticas de saúde; (iv) o desenvolvimento urbano, meio ambiente, projetos, programas e atividades dos setores dentre outras, que são dimensões que balizam a titularidade municipal e o fortalecimento do poder local (Brasil, 2007). Mais recentemente, a lei 14026/202 vem propor algumas formas de arranjos que possibilitem o fortalecimento dos municípios por meio da constituição de blocos de forma a permitir viabilidade técnica e econômica. A lei traz também a adoção de critérios como a fixação de metas claras de redução de perdas e ainda incentivo ao reuso de água. Todas essas alterações têm como objetivo ampliar os índices de atendimento de água e esgotamento sanitário, de forma a se buscar a universalização dos serviços em 2030.

Com uma visão voltada aos índices de abastecimento de água e coleta de esgoto, observou-se que, em 2007, o índice médio nacional de atendimento da população total (urbana e rural) com relação ao saneamento, era de 81,9% para o abastecimento de água e de 24,4% para a coleta de esgotos (SNIS, 2007). Após mais de uma década, em 2019, esses percentuais foram de 93% para o abastecimento de água e de 76% para a coleta de esgotos (SNIS, 2019). Isso indica que, durante esse período (2007-2019), houve um aumento do atendimento à população, porém não atingiu a universalização dos sistemas.

Levantamento de dados realizado no Estado de Mato Grosso, em 120 municípios com população inferior a 50 mil habitantes, durante a elaboração dos Planos municipais, permitiram identificar a situação dos municípios, após vinte anos da predominância de um modelo descentralizado, com a assunção dos serviços de água e esgoto por cada municipalidade, sem contar com nenhum tipo de cooperação e ou orientação do Estado, culminando com a falta de uma estrutura organizacional para lidar com a gestão dos serviços de saneamento, seja na prestação, fiscalização e regulação dos serviços. Nesse sentido, tomando como fonte de dado, o sistema de informação do Plano Municipal de Saneamento Básico 106 (mais especificamente o PMSB 106) do estado de Mato Grosso. Esse projeto foi denominado 106, contempla as

informações dos diagnósticos de 120 municípios de Mato Grosso. Este artigo tem como objetivo apresentar em síntese o panorama da situação de dois dos quatro eixos do saneamento básico: (i) sistema de abastecimento de água (SAA); (ii) sistema de esgotamento sanitário (SES) tendo como referência as diretrizes estabelecidas pela lei 11445/2007 e o novo marco regulatório lei 14026/2020.

Além dessa seção introdutória, na Seção 2, apresenta-se o histórico do saneamento básico, na Seção 3, descreve-se o procedimento metodológico, na Seção 4, busca-se, respectivamente, apresentar os resultados e discussão, mostrando um panorama do Estado mediante indicadores; e, finalmente, na Seção 5, destacam-se as principais observações relacionadas ao SAA e SES.

HISTÓRICO DO SANEAMENTO BÁSICO

Até o final da década de 1960, o saneamento básico era visto apenas como um conjunto de ações voltadas à saúde pública, que contribuíam para a redução da mortalidade por doenças infecciosas, parasitárias e até mesmo não infecciosas (Araújo, 2008; Sanine *et al.*, 2018). Em 1969, foi criado o primeiro plano nacional, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), a partir da definição de um modelo centralizado, que redefiniu as ações voltadas ao sistema de abastecimento de água e esgoto. Este modelo teve como papel delegar a gestão do serviço de saneamento às Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs), com metas de atender a 90% da população urbana com sistemas de abastecimento de água e 65% com sistemas de esgotamento sanitário para um período de 20 anos, com recursos financiados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) (Britto, 2001; Turolla, 2012, da Silva *et al.*, 2020).

O PLANASA, em seu período de atividade, foi responsável por beneficiar 56 milhões de novos usuários em apenas 15 anos, aumentando significativamente a quantidade de domicílios conectados à rede de água potável. Entretanto, considerando a natureza de monopólio que caracteriza este tipo serviço, há uma demanda sem ameaça de competição, e, nessa situação, as empresas do ramo não ofereceram incentivos para reduzir custos e melhorar a eficiência (Britto, 2001; Barbosa *et al.*, 2020). Em decorrência disso, acarretaram-se a deterioração da saúde financeira das companhias e o esgotamento das fontes de financiamento, junto a estes problemas, findaram as carências dos empréstimos e ampliaram as despesas de amortização e encargos financeiros das dívidas (Turolla, 2002). Em 1984, a identificação de problemas no gerenciamento das CESBs levou a inviabilização da continuidade dos planos,

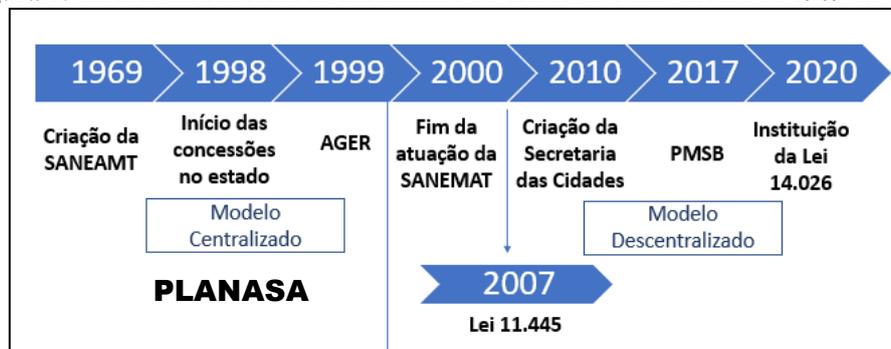
ocorrendo, em 1986, a extinção do BNH, e, então, a Caixa Econômica Federal assumiu o antigo papel desse banco (Turolla, 2002; Turolla, 2012, da Silva *et al.*, 2020).

Com o fim do PLANASA, o saneamento passou por um período de obsolescência, conforme destacado por Coutinho (2021). E após essa época, na década de 1980 até 1990, verificou-se avanços na Legislações Ambiental e de Recursos Hídricos. Lima *et al.*, 2017, ponderam que a legislação ambiental estabeleceu a exigência do licenciamento das Estações de Tratamento de Água e Esgoto e demais unidades dos sistemas e o atendimento do lançamento dos efluentes de acordo com os padrões ambientais e de efluentes determinados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de modo a minimizar os impactos gerados pelos efluentes lançados *in natura* no ambiente.

Enquanto que a legislação de Recursos Hídricos implementada no final da década de 90 passou a exigir a implementação dos instrumentos de outorga de captação e de diluição para captação e lançamento nos corpos hídricos. Entretanto, apenas em 2005, o setor de saneamento, após vários projetos de lei, concentrou as discussões na construção da nova Política Nacional para Saneamento Básico estabelecida pelo projeto de Lei nº 5.295/2005, resultando posteriormente na promulgação da Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007). Essa lei foi ainda atualizada para Lei nº 14.026 de 2020, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, envolvendo os quatro eixos: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos.

O modelo institucional adotado pelo estado do Mato Grosso seguiu as diretrizes do PLANASA, com a criação da CESB, como aconteceu nos demais estados brasileiros. Na Figura 1 é possível visualizar uma linha do tempo com os fatos ocorridos desde o início do PLANASA, em 1969, até 2017. Sob a responsabilidade da Companhia de Saneamento do estado do Mato Grosso (SANEMAT), predominou o modelo centralizado até a sua extinção em 2000.

Figura 1: Modelo institucional de saneamento do estado do Mato Grosso de 1969 até 2020.



Fonte: Adaptado Lima et al. (2017).

A prestação dos serviços da SANEMAT permaneceu vigente durante quase três décadas, a qual foi responsável pela distribuição de água e coleta de esgoto em 91% dos municípios mato-grossenses (ANA, 2010). Com a extinção do PLANASA, em 1986, o saneamento do Mato Grosso continuou sendo gerenciado pela SANEMAT, entretanto, a empresa já passava por dificuldades financeiras e os déficits originados pelos passivos trabalhistas de impostos que foram sendo acumulados afetando sobremaneira a saúde financeira da empresa. Ainda na década de 80, a companhia fez parceria com o Governo Federal no projeto intitulado “Estabelecimento de Marco Regulatório e Arranjo Institucional para a Provisão dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do estado de Mato Grosso”, contratado pelo Ministério de Planejamento e Orçamento (UGP/PMSS) em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (Caovilla, 2007).

Com as dificuldades encontradas, o governo de estado com o intuito de buscar melhorias, iniciou, em 1998, as primeiras concessões para sistemas de abastecimento de água e esgoto. Junto a isso, criou-se, em 1999, a Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados (AGER), com natureza de autarquia, com a função de fiscalizar e regular as atividades de serviços públicos executados por empresas privadas, mediante prévia concessão, permissão ou autorização (Caovilla, 2007). Em 2000, foi instituída a Lei Estadual nº 7.358 que retira a SANEMAT, como prestadora dos serviços de água e esgoto e dá início ao processo de municipalização plena dos serviços de saneamento básico (gestão descentralizada) (Mato Grosso, 2000). Em 2007, a Lei nº 11.445, é definido o novo marco regulatório do saneamento, que abrange as diretrizes para melhorias nos quatro eixos do saneamento básico e torna obrigatória a elaboração dos PMSB (Brasil, 2007).

Somente em 2007, foi implantado o Marco Regulatório, instituído pela Lei nº 11.445, que estabelece as diretrizes do saneamento básico (Carvalho & Adas, 2012; Aragão, 2021). Essa lei definiu as atividades de planejamento, prestação de serviços, regulação e controle social deveria apresentar estruturas organizacionais independentes, cabendo ao município realizar o seu planejamento. Definiu, ainda, que a prestação de serviços poderia ser exercida de forma direta pelo município ou autarquia e indireta por meio de concessões privadas e ou consórcios públicos. A regulação ganha um papel importante e deveria ser realizado por uma autarquia municipal, ou por meio de um termo de cooperação com uma entidade de regulação estadual e ou regional.

Entre estas diretrizes, o PMSB é definido como um instrumento estratégico de gestão e planejamento, para atender os preceitos da legislação de saneamento. Em atenção a lei e diante

a preocupação ao acesso aos recursos do Governo Federal para ações de saneamento básico, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) elaborou um projeto com o intuito de aferir a situação de cada município, tendo como objetivo analisar as condições de cada um deles, e apoiar, as cidades com até 50 mil habitantes, na construção da elaboração dos planos, por intermédio de parcerias com o Governo do Estado (Brasil, 2007; Lima *et al.*, 2017).

O projeto de Lei nº 3.261/2019 previu mudanças na Lei 11.445/2007, que foram consolidadas com a aprovação do novo marco regulatório, a Lei nº 14.026 de 2020, que altera a denominação e as atribuições do cargo de especialista em recursos hídricos para a Agência Nacional de Águas (ANA), e incumbe a esta, a competência de instrução normativa para regulação dos serviços públicos de saneamento básico, além das competências anteriores em relação aos recursos hídricos. Ainda, acrescenta algumas diretrizes de saneamento básico, como: i) a titularidade; ii) a prestação regionalizada; iii) os aspectos técnicos; iv) os contratos de prestação; v) a regulação; e vi) a remuneração. Dispõe também sobre: i) a criação do Comitê Interministerial de Saneamento Básico; ii) como trata dos fundos de financiamento para apoiar parcerias público-privadas; e iii) projetos de concessão, por meio de serviços técnicos profissionais especializados (Brasil, 2020).

METODOLOGIA

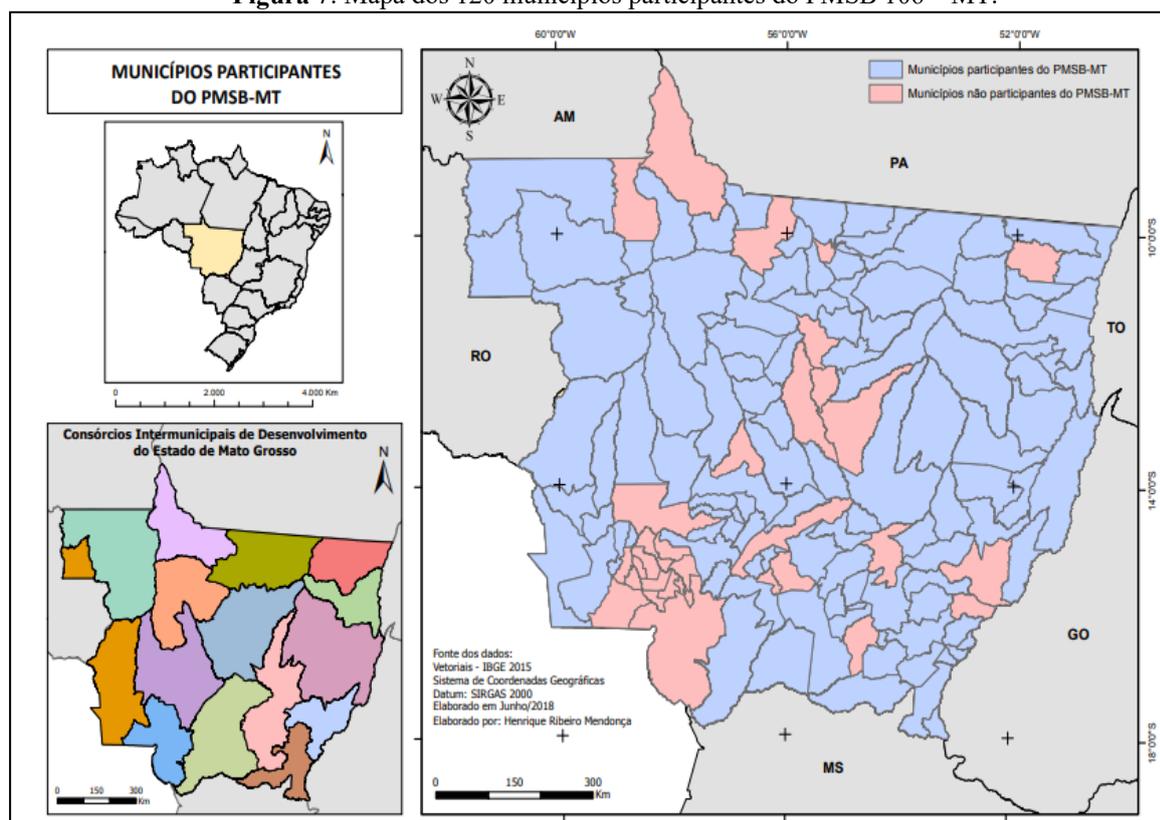
A metodologia utilizada neste artigo apresenta caráter exploratório, a partir do estudo de caso de 120 municípios do Mato Grosso, disponíveis na base de dados do Projeto PMSB 106 – MT, realizado pela Universidade Federal de Mato Grosso, com recursos provenientes da FUNASA. Os dados serão analisados a partir da utilização de indicadores quantitativos e qualitativos.

As etapas metodológicas propostas neste trabalho é apresentado em três fases, conforme segue: (i) descrição da área de estudo; (ii) identificação das variáveis de performance do SAA e SES das prestadoras de serviço; e (iii) análise crítica sobre os resultados encontrados.

Área de Estudo

A área de estudo abrange 120 municípios que representa 85% do total dos municípios do Estado, com população de até 50 mil habitantes, distribuídos em 15 consórcios do estado, totalizando uma população urbana de 1.095.199 habitantes. Na Figura 2, a área destacada em vermelho compreende os municípios, que não fizeram parte do trabalho e em amarelo os municípios da base de dados do PMSB 106 - MT, cidades estas que farão parte do presente estudo.

Figura 7: Mapa dos 120 municípios participantes do PMSB 106 – MT.



Fonte: Os autores (2021).

Panorama do SAA e SES

Esta fase consistiu na identificação das variáveis de performance das prestadoras de serviço operantes nos 120 municípios, visando apresentar o panorama do SAA e SES dessas localidades e compará-los de maneira geral com padrões definidos em literaturas e na Lei nº 11.445/2007. Dessa forma, realizou-se a seleção de seis variáveis, identificadas por intermédio de dados e informações disponíveis na base de dados do projeto PMSB 106 – MT, utilizando variáveis quantitativas e qualitativas. A seleção foi norteada com auxílio de literaturas (ABAR, 2018; ABCON, 2018; Trata Brasil 2018; Trata Brasil 2019) e especialistas da área, e a divisão é apresentada no Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis de performance.

| | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Panorama geral | População |
| Panorama geral | Renda <i>per capita</i> |
| Panorama de abastecimento de água | Tipo de prestação de serviço |
| | Percentual de cobertura |
| | Percentual de perda |
| Panorama de esgotamento sanitário | Percentual de cobertura |
| | Tipo de tratamento |

Fonte: Os autores (2021).

Cabe ainda mencionar que os resultados foram analisados utilizando a representação de mapas, com o auxílio do Programa de georreferenciamento, um *software* que utiliza os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) junto a interface minimalista e eficiente, que permitem visualizar e analisar dados com melhor performance (Lobo *et. al* 2012; Bruno, 2017). As variáveis: percentual de cobertura e as perdas do SAA, foram analisadas por meio de critérios de classificação, apresentados a seguir.

1) Classificação qualitativa do percentual de cobertura do SAA

O percentual de cobertura corresponde ao atendimento com os serviços de abastecimento de água, ou seja, refere-se ao acesso de água por meio de rede de distribuição de água. Os critérios adotados basearam-se na classificação qualitativa do percentual de cobertura proposto por Costa *et al.* (2013); Dorsa *et al.* (2019); Elias *et al.* (2021), que determinaram a divisão como: (i) não satisfatório, quando o sistema apresenta cobertura entre 0% a 95%; e (ii) satisfatório, quando está entre 95% a 100%.

Para classificar os dados da análise do percentual de cobertura do SAA, de forma qualitativa, nesse estudo as subdivisões foram adaptadas em: (i) completamente insatisfatório; (ii) insatisfatório; (iii) pouco satisfatório; e (iv) satisfatório, como pode ser melhor observado no Tabela 2.

Tabela 2: Percentuais de cobertura do SAA e SES.

| Percentual de cobertura (%) | Classificação do Sistema |
|-----------------------------|------------------------------|
| <80% | Completamente insatisfatório |
| 80% a 90% | Insatisfatório |
| 90% a 95% | Pouco satisfatório |
| >95 | Satisfatório |

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2013).

2) Classificação qualitativa do percentual de Perdas do SAA

As perdas de água são associadas as parcelas de água que não chegam aos consumidores em função de vazamentos no sistema público de abastecimento, ou ainda, parcelas de água que não são contabilizadas em função dos erros comerciais/gerenciais, das fraudes (ligações clandestinas) e dos erros de medição (hidrômetros com inclinações), entre outros (Tsutiya, 2006, Maynard *et al.*, 2016). O Tsutiya (2016) classifica os resultados de perda no SAA, subdividindo em faixa de percentual e qualificando quatro categorias, sendo elas: (i) bom; (ii) regular; (iii) ruim; ou (iv) muito ruim, de acordo com os percentuais total de perdas encontrado,

conforme ilustra o Tabela 3, essa metodologia também foi utilizada por Cruz (2019), Elias (2019)

Tabela 3: Percentuais de perdas em SAA

| Percentuais Total de Perdas (%) | Classificação do Sistema |
|---------------------------------|--------------------------|
| <25 | Bom |
| 25 a 40 | Regular |
| 40 a 65 | Ruim |
| >65 | Muito ruim |

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões apresentam o panorama geral dos 120 municípios, ao SAA e SES.

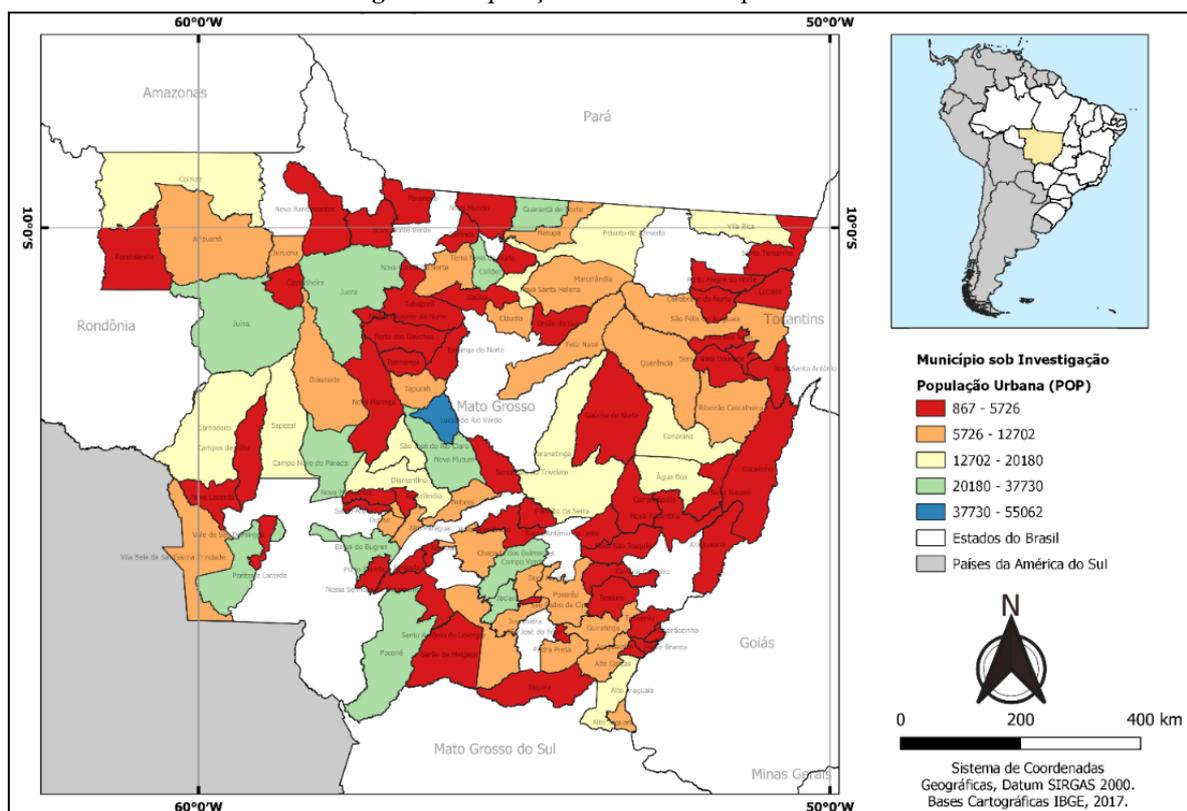
Panorama Geral

Nessa subseção, serão apresentados e discutidos os principais aspectos relacionados a população, renda *per capita* e tipo de prestador de serviços.

1 População

Este estudo abrange 85% das cidades do Estado com populações inferiores a 50.000 hab. Destaca-se que o menor município tem a população urbana de 867 habitantes e o maior de 55.062, como pode ser observado na Figura 3. Salvo que, o município com maior população é Lucas do Rio Verde, considerado em virtude de fazer parte da base de dados do projeto- PMSB-MT. Verifica-se que 46% dos municípios analisados apresentam população inferior a 5726 habitantes e 89% abaixo de 20180 e apenas 11% apresentam população acima de 20180 hab., conforme apresenta a Figura 3.

Figura 8: População dos 120 municípios estudados.



Fonte: Os autores (2021).

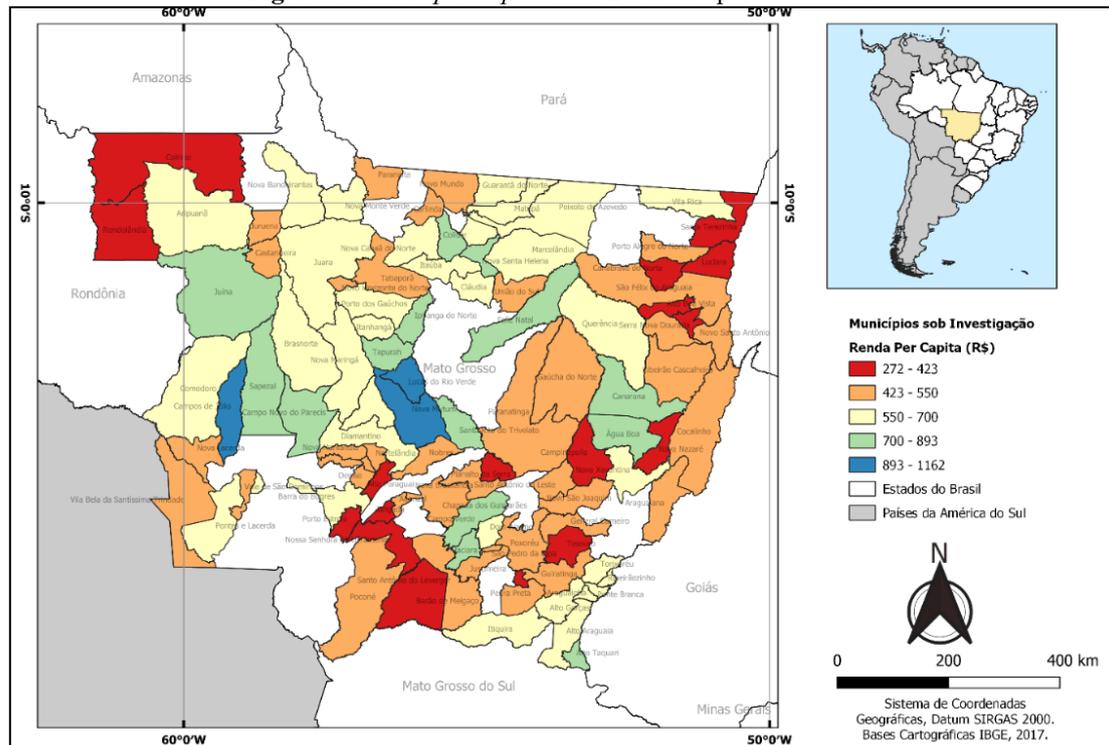
Observa-se que a maioria dos municípios mato-grossense se caracterizam pela predominância de municípios de pequeno porte populacional, ou seja, com população até 50.000 habitantes, o que muitas vezes constituem em baixa viabilidade econômico-financeira para gerir seus serviços de água e esgoto. Essa situação tem sido pontuada por Lima *et al.*, 2017 que enfatizam que a maior parte dos municípios do Estado vivem, apenas, de repasse do governo Federal e Estadual, com baixa capacidade de investimentos, com recursos próprios, no setor de saneamento.

Scheuer *et al.* (2018), em um estudo realizado nos municípios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul contidos no Bioma Pantanal constataram a dependência destes municípios em relação das transferências constitucionais do governo federal, em especial do Fundo de Participação dos Municípios (FPM), que acaba por constituir a principal fonte de receita dos novos e pequenos municípios.

2) Renda per capita

Em relação a renda *per capita*, pode-se observar as variações na Figura 4, que mostra a menor renda de 271,99 reais/mês e a maior de 1.162,40 reais/ mês, dentre os 120 municípios em estudo.

Figura 9: Renda *per capita* dos 120 municípios estudados.



Fonte: Os autores (2021).

Ao analisar individualmente os municípios representados na Figura 4, observa-se que a maior renda *per capita* ocorre em Campos de Júlio (R\$ 1162,40) e a menor em Jangada (R\$ 271,99). O município de Campos de Júlio possui uma população urbana de 5.210 habitantes, sua base econômica é voltada ao setor primário, onde as principais atividades são: (i) agricultura com lavouras temporárias de produtos exportáveis: soja e milho; (ii) em menor escala, as lavouras de algodão herbáceo, cana-de-açúcar e feijão; e, complementarmente, (iii) a pecuária de corte, cria e recria, que contribuem na formação da riqueza local (por exemplo, em 2015, o rebanho bovino era de 47.922 cabeças). Dados da Seplan (2019) apontam, Campos de Júlio, como um dos 12 municípios mato-grossense com o maior PIB per capita (Produto Interno Bruto por habitante) do país, tendo o agronegócio com base da economia e destaca também que todos esses 12 municípios, têm em comum uma baixa densidade demográfica, que varia de menos de um habitante a 7,53 habitantes por quilômetro quadrado.

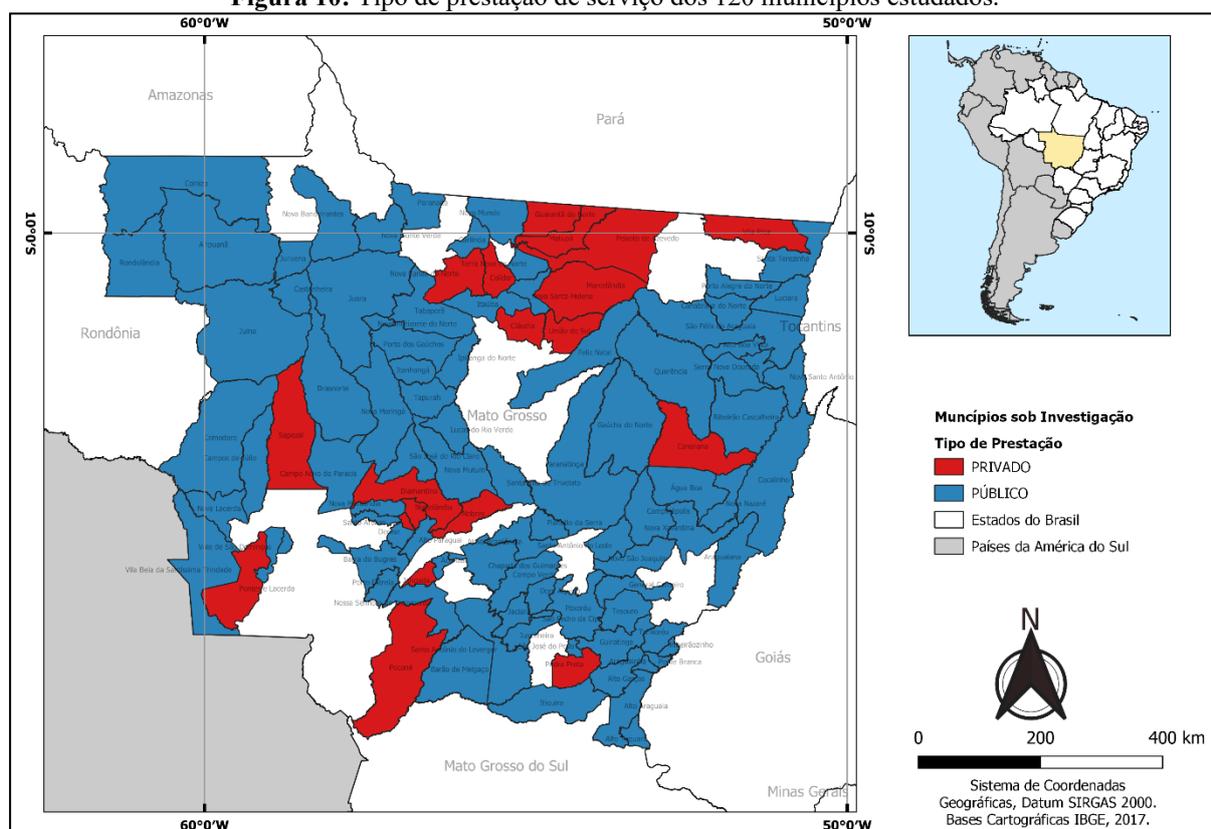
Entretanto, o município de Jangada com população de 3.016 habitantes na área urbana, localizado na Baixada Cuiabana, apresenta a menor renda *per capita* dos 120 municípios analisados, com base econômica no setor primário, tem como principais atividades econômicas: (i) a pecuária, no sistema de cria, recria e corte; e (ii) a agricultura de subsistência e piscicultura (LIMA *et al.*, 2017).

Além disso, a média da renda *per capita* dos 120 municípios é de R\$ 563,759 por mês, enquanto a renda média do estado de Mato Grosso é de R\$ 1.386,00 e do Brasil de R\$ 1.373,00 (IBGE, 2018).

3) Tipo de prestação

Por consequente, é analisado o tipo de prestação de serviço de água e esgoto realizada nestes municípios. Nesse sentido, observa-se que, em relação ao SAA e SES coletivo, 82% da prestação dos serviços é pública e 18% privada, conforme identificado na Figura 5.

Figura 10: Tipo de prestação de serviço dos 120 municípios estudados.



Fonte: Os autores (2021).

De acordo com a ABCON (2018), 71% dos municípios brasileiros tem sistema de prestação de serviço de água e esgoto realizados por modelo centralizado, e 33% descentralizado, dentre esses, 27% são realizados por prestação municipal pública e 6% privada, essa última equivale a 322 municípios no país, atendendo a 31.099.693 habitantes. O Estado com maior número de concessões é justamente o Mato Grosso, com aproximadamente 27% dos municípios concedidos e, em seguida, São Paulo com 9% (ABCON, 2018).

Por meio de análise dos dados e da Figura 5, pode-se verificar que a prestação privada está mais presente na região norte do estado e, ainda, de que não estão presentes apenas em

municípios com alto poder aquisitivo, como exemplo temos os municípios apresentados anteriormente, Campo de Júlio e Jangada, onde o primeiro apresenta um PIB elevado com prestação pública e o segundo PIB baixo e prestação privada, sendo importante destacar, de que ambos apresentam uma boa qualidade na prestação dos serviços.

Panorama de Abastecimento de Água

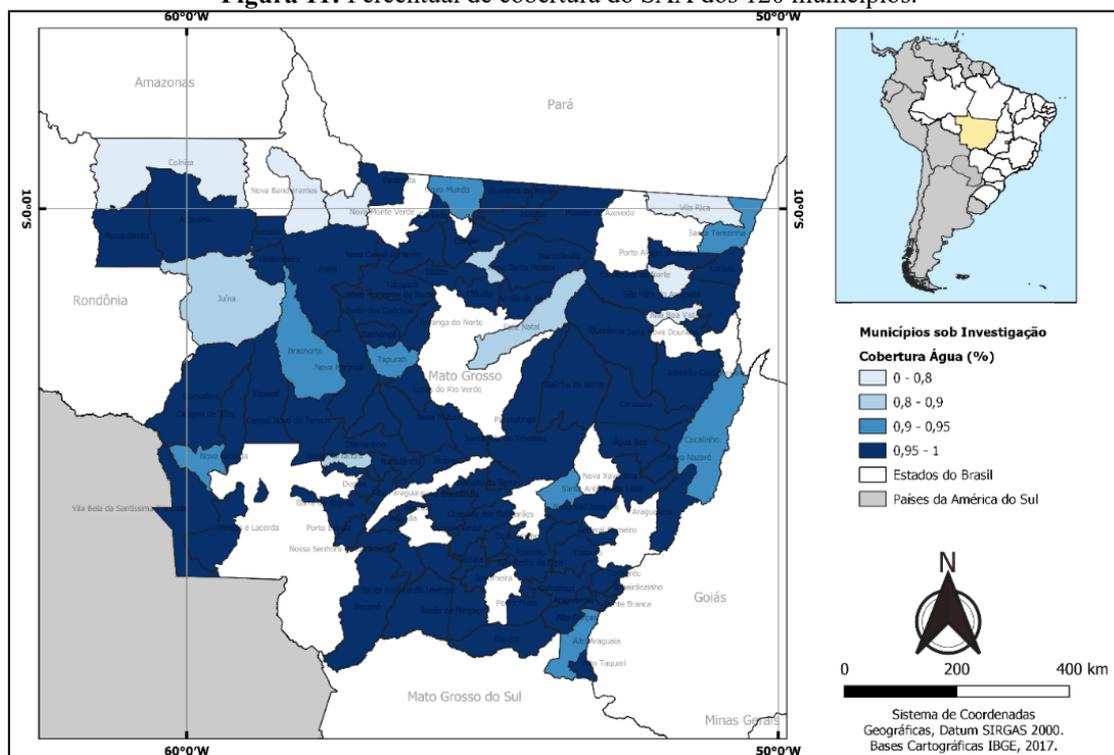
Nessa subseção, serão apresentados e discutidos os principais aspectos relacionados a cobertura e as perdas do SAA.

1) Percentual de cobertura de água

Em relação ao SAA, primeiramente, é apresentado o percentual de cobertura de abastecimento de água, que varia expressivamente entre os municípios. Essas variações ocorrem conforme a região de moradia, a cultura e o poder aquisitivo (Costa, 2003; Oliveira, 2016; Marrara, 2019).

Dessa maneira, analisou-se o percentual de cobertura do SAA dos municípios do PMSB 106, com base no Quadro 2, tem-se: (i) 9% dos municípios classificados como completamente insatisfatório (>80%); (ii) 3%, como insatisfatório (81% a 90%); (iii) 8% como pouco satisfatório (91% a 95%); e (iv) 80% como satisfatório (superior a 95%). Na Figura 6 pode-se em azul mais escuro os municípios com cobertura de abastecimento de água superior a 95%.

Figura 11: Percentual de cobertura do SAA dos 120 municípios.



Fonte: Os autores (2021).

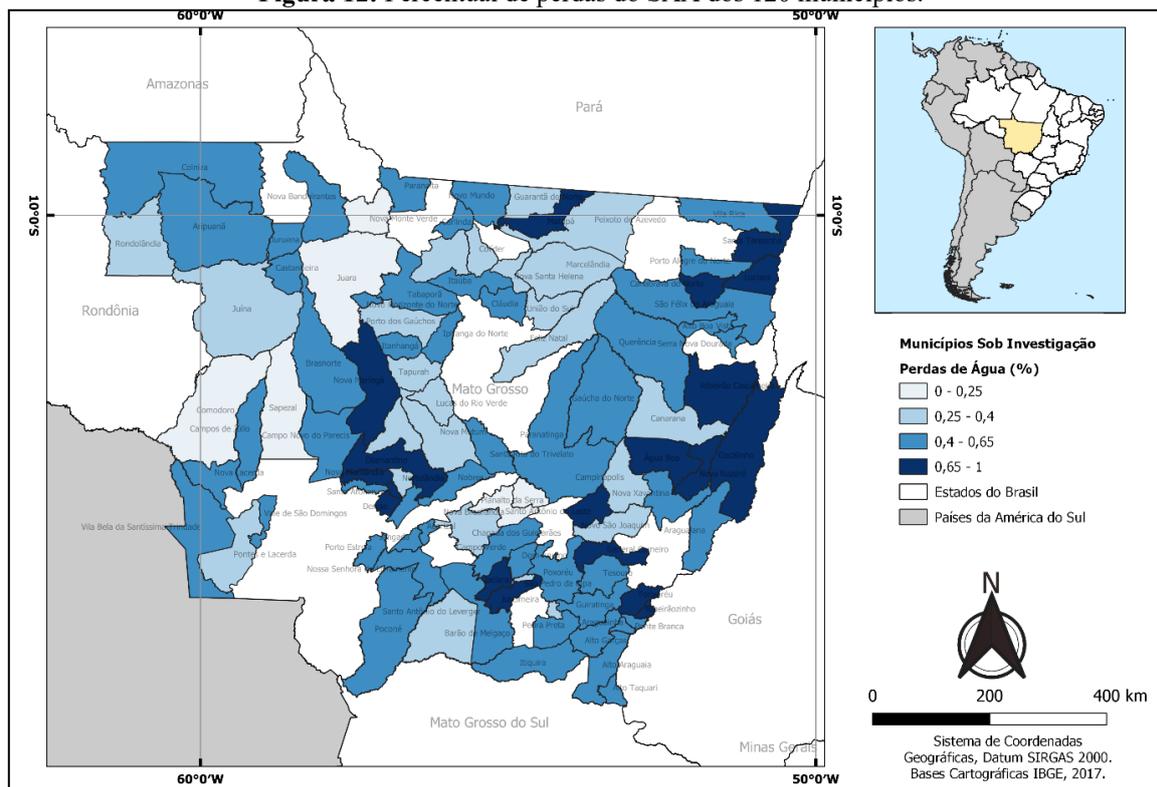
No entanto, os dados do estudo são comparando aos dados brasileiros do SNIS, dos anos de 2017 e 2018, sendo verificado uma redução no sistema brasileiro em relação ao número de novas ligações na rede de água urbana (SNIS, 2018). Ainda, Costa (2003); Magalhães *et al.*, (2021), abordou que o percentual de cobertura no abastecimento de água se encontra com maior deficiência nas regiões Norte e Nordeste. Segundo SNIS (2018), a média de atendimento na área urbana com rede de água no Brasil é de 92,8% e no Centro-Oeste é de 96,0%. O índice de cobertura médio do SAA nos dados amostrais do Estado tem 95% de cobertura, salvo que na área urbana, o percentual é superior à média do Brasil, porém inferior ao do Centro-Oeste.

Este percentual dos dados amostrais não atinge a universalização que, segundo a Lei 14.026 (2020), para o serviço ser universalizado a oferta deve atender a 100% da demanda na área urbana e rural. Quando se analisa a universalização do atendimento no Mato Grosso, entende-se que ainda deve ser melhorado o abastecimento de água nas sedes urbanas, mas que também deve atingir as sedes rurais (Lima *et. al*, 2017). Ainda, o atendimento com abastecimento de água com rede de distribuição pode apresentar um tratamento ineficiente ou/ter intermitência no fornecimento (Lima *et. al*, 2017).

2) Perdas de água

As perdas ocorrem em todas as fases de um SAA, ou seja, desde a captação da água bruta até a distribuição nos ramais, e sua causa é dada por diferentes motivos, como a deficiência de operação e manutenção e a gestão inadequada do responsável pela prestação do serviço (Tsutiya, 2006). A Figura 7 apresenta os percentuais de perdas encontrados nos sistemas dos 120 municípios.

Figura 12: Percentual de perdas do SAA dos 120 municípios.



Fonte: Os autores (2021).

Na Figura 7, apresenta-se as variações entre as perdas nos sistemas de abastecimento dos dados amostrais, em azul escuro estão apresentadas as cidades com maiores perdas no sistema. Segundo a classificação de Tsutya (2006), tem-se: (i) apenas 4% dos municípios apresentam valores igual ou inferior a 25% de perda no sistema, classificados como bons; (ii) 29% com percentual entre 26% à 40%, ou seja, classificados como regular; (iii) 50% dos municípios com perdas entre 41% e 65%, valores estes considerados ruins; e (iv) 16% índice superior a 65%, sendo considerados muito ruins.

Cabe ainda destacar que o índice médio de perdas dos municípios do PMSB 106-MT é de 47,47%, que conforme classificação de Tsutiya (2006), é considerado como ruim. Porém, o índice médio de perdas no Brasil é 38,29%; no Centro-oeste a perda é de 36% e estado do Mato Grosso de aproximadamente 50% (Trata Brasil, 2018). Logo, essa variável apresenta a média superior aos valores quando comparado com dados da média nacional e da macrorregião, e similar ao índice mato-grossense. Entretanto, o valor ideal para as perdas deve ser inferior a 25% (Tsutiya, 2006), e mediante as médias apresentadas pelo Trata Brasil (2018) e dos municípios do PMSB 106-MT, os percentuais brasileiros encontram-se superiores, que implica no desperdício de água dos mananciais.

Além disso, seguindo por uma análise individual dos municípios, conforme exposto na Figura 6, Nova Brasilândia apresenta o menor índice de perda, com 15%, classificando o sistema como bom, e Cocalinho apresenta pior índice no valor de 83% de perdas, sendo classificado como ruim. Um estudo realizado por Santos e Wander (2014), na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), mostrou que o índice de perdas de maior valor é de 70,10% e menor valor de 27,67%. Segundo Trata Brasil (2018), em nível nacional, o município com maior índice de perdas é Manaus (71,85%) e o menor Vitória da Conquista (10,58%). Em nível internacional, o Uruguai, por exemplo, apresenta o maior índice (49%) e Dinamarca com o menor (6,9%).

O percentual de perdas elevados provocam a retirada de maiores volumes de água dos mananciais, ou seja, há a necessidade de um volume de água maior do que o necessário para atender a demanda da população, impactando de forma negativa nos recursos hídricos e comprometendo a sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, Santos e Wander (2014); Hening (2021), apontaram a necessidade de se realizar planos de saneamento que definam ações e metas a serem cumpridas e aporte de investimentos para promover a melhoria no sistema de abastecimento de água. Somente dessa forma é possível reduzir o índice de perda no sistema e, com isso, atingir metas que assegurem a sustentabilidade do sistema.

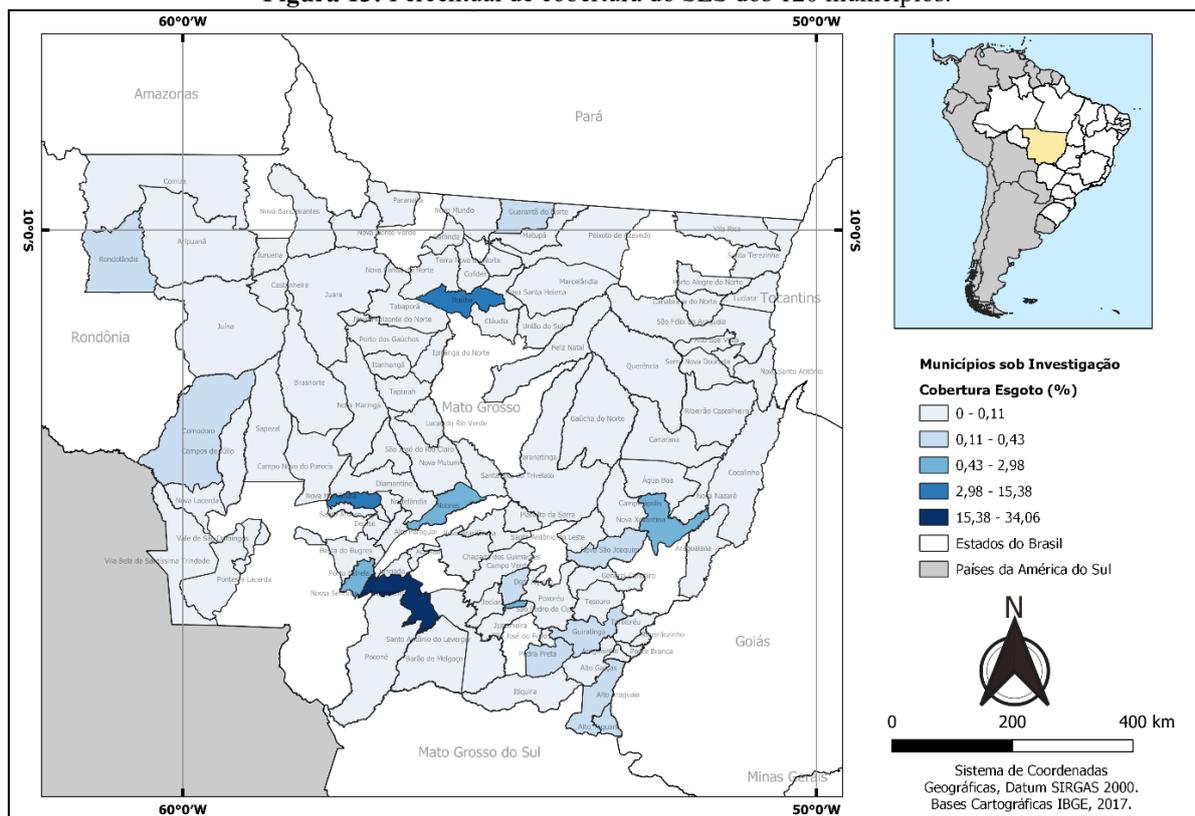
Panorama de Esgotamento Sanitário

Nessa subseção, serão apresentados e discutidos os principais aspectos relacionados a cobertura do esgoto e os tipos de tratamentos utilizados.

1) Percentual de cobertura de esgoto

Para analisar o percentual de esgoto, não se utilizou o mesmo método empregado para SAA, pois os dados são bem distintos. Ao analisar os dados de cobertura do SES, observa-se que a maioria dos municípios amostrados, 96 apresentam cobertura inferior a 1%, e apenas 5 cidades, com cobertura superior a 40% (Figura 8).

Figura 13: Percentual de cobertura do SES dos 120 municípios.



Fonte: Os autores (2021).

O SES não necessita apresentar um sistema coletivo, esse tipo de sistema as vezes é inviável a municípios com populações inferiores a 5.000 habitantes, ainda segundo Pereira *et al* (2009); Pereira & Lopes (2016); e dos Santos *et al.* (2020), admitem que cidades com essa população tenham sistemas individuais. Segundo Lima *et al* (2017) para municípios desse porte é necessário que seja realizada uma melhor análise junto a especialistas da área quanto aos aspectos geológicos, topográficos e hidrográficos, pois a implantação de sistema coletivo com essa população não teria condições viável a implantação de rede pública devido ao custo elevado e aos impactos ambientais que acarretaria, se o tratamento não for adequado para o corpo receptor. Essa análise é de extrema importância para esse estudo pois aproximadamente 50% dos municípios amostrais, apresentam população inferior a 5.000 habitantes (Figura 3).

Segundo especialistas da área, esses sistemas para ser individual devem atender as exigências construtivas, que devem ser avaliados no estudo geológico, topográfico e hidrológico, assim como ter uma fiscalização assistida da prestadora sob a população.

De acordo com informações do SNIS (2019), a média de atendimento na área urbana esgotamento sanitário no Brasil é de 93% e o índice de cobertura médio do SES dos dados amostrais do Estado tem 18% de cobertura, salvo que na área urbana, o percentual está

extremamente abaixo da média nacional, a qual já está distante da universalização, que segundo a Lei 14.026/2020, para o serviço ser universalizado a oferta deve atender a 100% da demanda na área urbana e rural (Brasil, 2020). Quando se analisa a universalização do atendimento no Mato Grosso, entende-se que ainda deve ser melhorado o esgotamento sanitário nas sedes urbanas, mas que também deve serem realizados estudos para verificar o melhor dispositivo de tratamento para as sedes rurais, visto que deve levar em consideração a fiscalização em caso de sistema individual (Lima *et al.*, 2017).

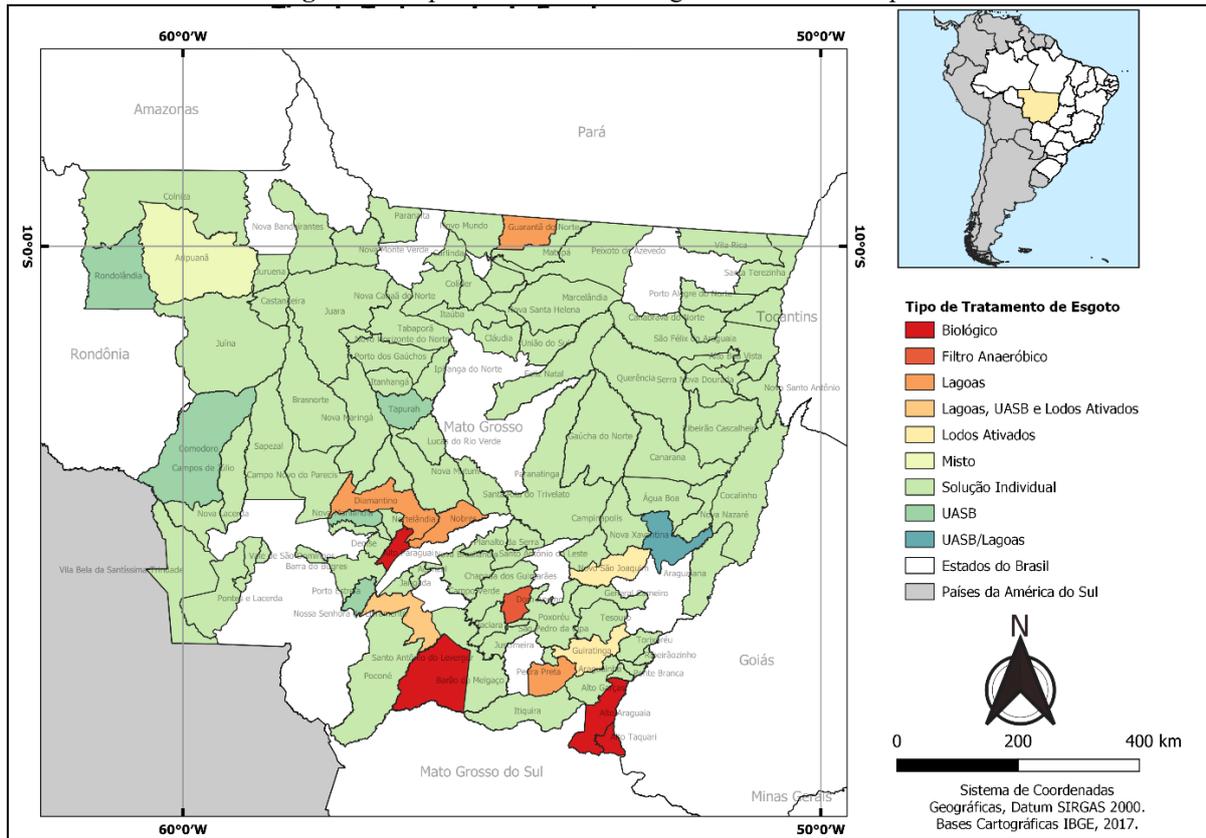
O SES é de extrema importante, pois apresenta impactos diretos na saúde pública, no meio ambiente e na economia do país, quando a estrutura desses sistemas é estabelecida de maneira adequada, a população é amplamente beneficiada, e conseqüentemente implica em uma política com investimentos. Pois, o saneamento gerido de forma ineficaz pode trazer doenças de vinculação hídricas, e ainda propiciar os criadouros para a reprodução do vetor como o *Aedes aegypti*, responsáveis pela transmissão das doenças dengue, chikungunya e Zika (Almeida *et al.*, 2020). Por meio dessa visão é imprescindível abordar sobre a importância do investimento em saneamento, pois segundo a Organização Nacional de Saúde (ONU) a cada um dólar investido em saneamento básico, economiza-se 4,3 dólares em saúde (ABES, 2014).

O abastecimento de água do Brasil possui um índice de cobertura relativamente alto, bem diferente ao encontrado em relação ao esgotamento sanitário. porém observou-se que o SAA e SES não atingem a universalização (Brasil, 2020), além de apresentarem baixo desempenho no gerenciamento dos sistemas (Lima *et. al*, 2017). De acordo com Medeiros *et. al*, (2020) a universalização não envolve apenas o índice de cobertura, engloba também a qualidade da água e do sistema. Os principais desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil incluem a definição e o estabelecimento de políticas públicas e a designação de responsabilidades pela prestação e regulação desses serviços (Galvão Jr., 2009; Prado, 2021).

2) Tipo de tratamento

Em relação ao sistema de esgotamento sanitário aos municípios amostrados, 80% possuem a disposição final realizada em fossas rudimentares, segundo Lima *et. al* (2017) sem nenhum tipo de avaliação e riscos de contaminação; por outro lado, em 20% das cidades, o tratamento é realizado por meio de sistemas coletivos, com diferentes tratamentos, entre eles: (i) filtro biológico; e (ii) lagos; e (iii) USB; como pode ser observado na Figura 9.

Figura 14: Tipo de tratamento de esgoto nos 120 municípios.



Fonte: Os autores (2021).

As informações apresentadas na Figura 9 evidenciam o panorama do esgotamento sanitário nos municípios mato-grossense envolvidos no PMSB 106-MT, possuem apenas 20% de tratamento coletivo, contudo esse tratamento não indica a universalização e eficiência do sistema no município. Ainda, especialistas da área abordam que para escolha do tipo de tratamento de estudo deve ser levado em consideração quesitos distintos, como: (i) cultura, (ii) população, (iii) área disponível, geologia, (iv) topografia, (v) hidrografia e (vi) viabilidade de custo. Ainda se observa que não há tipo de tratamento melhor ou mais eficiente, mas sim deve-se levar em conta um conjunto de estudos para melhor escolha do tipo de tratamento a ser escolhido (Lima *et. al*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de abastecimento de água e o sistema de esgotamento sanitário, ainda sofre os reflexos da estagnação verificada em todo país, que culminou com a ausência de política pública dessa sustentação a todos os aspectos, institucionais, organizacionais, técnico operacional e econômico, provocando forte impactos no atendimento dos serviços e na desestruturação de toda a cadeia do setor. Em Mato Grosso, os municípios passaram a ter um modelo centralizado, exercido pela SANEMAT, para uma prestação descentralizada, em que a

responsabilidade passou a ser do município, contudo, contar com uma orientação e capacitação para que os gestores gerenciassem seus próprios sistemas. Nesse sentido, o estudo buscou apresentar um panorama do SAA e do SES, por meio de uma base de dados inéditos de municípios com população inferior a 50.000 habitantes englobados no PMSB 106.

Em atendimento aos objetivos, o panorama do SAA com cobertura de atendimento à população, verificou um percentual médio de 95%, porém que não atende a universalização do sistema e ainda apresentou elevadas porcentagem de perda de água, em torno de 47%. Em relação do panorama do SES, em 80% dos sistemas caracterizados como individuais é um alto percentual, contudo, o sistema individual pode ser utilizado para municípios com população inferior a 5 mil habitantes, quando fiscalizados e cumprindo as exigências para construção, o que não acontece nessas cidades sem sistema de tratamento coletivo, porém essa fiscalização também não ocorre.

Concluindo-se, que a universalização dos serviços de abastecimento de água, ainda não foi atingida pelos municípios analisados e que os índices de perda ainda são muito elevados, evidenciando problemas de manutenção e operação. Em relação aos serviços de coleta e tratamento de esgoto, encontram-se ainda mais distantes de se atingir índices de mínimos de cobertura desses serviços, acarretando assim implicações na saúde pública e ao meio ambiente.

Dessa forma, expostos os resultados, indicam-se ainda propostas de estudos que trabalhem com perspectivas futuras tais como: i) analisar os indicadores de desempenho de SAA e SES nos municípios, para verificar se houveram avanços; ii) avaliar se é possível estabelecer relação entre redução de doenças de veiculação hídricas em municípios com melhores índices de cobertura de água e esgoto nos 120 municípios amostrados.

REFERÊNCIAS:

ABCON; SINDICON. Panorama da participação provada no saneamento. (2018). Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/wp-content/uploads/2018/04/PANORAMA-PDF-FINAL.pdf> Acesso em: junho de 2019.

ABES. OMS: Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global. (2014). Disponível em: <https://abes-es.org.br/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/>. Acesso em: abril de 2021.

ALMEIDA, L. S., COTA, A. L. S., & RODRIGUES, D. F. (2020). Saneamento, Arboviroses e Determinantes Ambientais: impactos na saúde urbana. *Ciência & Saúde Coletiva*, 25, 3857-3868.

ARAGÃO, J. A. X. 2021. O saneamento básico nas regiões metropolitanas-uma nova perspectiva pelo posicionamento do supremo tribunal federal e pelo advento da lei nº 13.089/2015.

ARAÚJO, F. C. B. P. D. (2008). A influência da CAGECE sobre a taxa de incidência de doenças de veiculação hídrica (hepatite viral) nos municípios cearenses.

BARBOSA, A. M., VIEGAS, M. A. S., & BATISTA, R. L. N. F. F. (2020). Aulas presenciais em tempos de pandemia: relatos de experiências de professores do nível superior sobre as aulas remotas. *Revista Augustus*, 25(51), 255-280.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: junho de 2018.

BRASIL. Lei nº. 14.026, de 15 de julho de 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: março de 2021.

BRITTO, A. (2001). A Regulação dos serviços de saneamento no Brasil: perspectiva histórica, contexto atual e novas exigências de uma regulação pública. Encontro Nacional da ANPUR, 9, 1080-1093.

BRITO, A. D. O., MARTINS, I. S., & AICHA, N. N. (2012). Estudos da erosão urbana no Distrito Federal. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, Garça, 20(1), 85-92.

BRUNO, L. O. (2017). Aplicabilidade de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) livres nas ciências ambientais: o uso do QGIS. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 4(8), 321-326.

CAOVILLA, M. (2007). A gestão municipal dos sistemas de água e esgoto do estado de Mato Grosso: uma abordagem crítica. Dissertação. Pós-graduação em Física e Meio Ambiental; Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá – MT.

COSTA, F. J. L. (2003) Estratégias de gerenciamento dos Recursos Hídricos área de cooperação com o Banco Mundial. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1185895645304/4044168-1186329487615/15Num1ed.pdf>. Acesso em: agosto de 2018.

COSTA, S. A. B., CÔRTEZ, L. S., NETTO, T. C., & DE FREITAS JUNIOR, M. M. (2013). Indicadores em saneamento: avaliação da prestação dos serviços de água e de esgoto em minas gerais. *Revista da Universidade Federal de Minas Gerais*, 20(2), 334-357.

COUTINHO, R. P. A. (2021). Trajetória político-institucional do saneamento básico no Brasil: do planasa à lei 14.026/2020. *Revista de Direito da Administração Pública*, 1(3).

CRUZ, F. D. S. (2019). Análise da dinâmica espaço-temporal da qualidade da água na lagoa de Jacarepaguá-RJ a luz das interferências antrópicas de sua bacia hidrográfica.

DA SILVA, D. F., DA COSTA, G. G. G., FURTADO, L. G., LOPES, D. F., & LOPES, M. D. S. B. (2020). Transparência e universalização dos Índices de Água e Esgoto no Estado do Pará, Brasil. *Research, Society and Development*, 9(8), e898986341-e898986341.

DORSA, A. C., PEREIRA, M. A. D. S., & MAGALHÃES, F. J. C. (2019). Indicadores dos serviços de abastecimento de água e esgotamento doméstico na Rota de Integração Latino-Americana. *Interações (Campo Grande)*, 20, 237-253.

DOS SANTOS, S. C., DE SOUZA, M. A. S., DA SILVA PEREIRA, J., ALEXANDRE, A. C. S., & Rodrigues, K. F. (2020). A percepção dos idosos sobre a sexualidade e o envelhecimento. *Brazilian Journal of Health Review*, 3(2), 3486-3503.

ELIAS, R. G. M. (2019). Trajetórias dos fatores de risco cardiovascular associados a atividade física em trabalhadores de um hospital público.

ELIAS, L. G. R., DE MELO, M. C., SANTOS, A. S. P., & MAIA, L. C. (2021). Model of integrated territorial assessment for environmental justice applied to sanitation. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, 56(2), 232-247.

GALVÃO JR. A. C. (2009). Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health* 25(6).

HEINIG, D. W. (2021). Avaliação de políticas públicas de saneamento: a instituição do plano municipal de saneamento e o impacto na eficiência dos serviços de abastecimento de água em municípios catarinenses de pequeno porte (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto interno bruto dos municípios– 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23852-ibge-divulga-o-rendimento-domiciliar-per-capita-2018>>. Acesso em: fevereiro de 2020.

LEONETI, A. B.; DO PRADO, E. L.; DE OLIVEIRA, S. V. W. B. (2011). Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Rev. Adm. Pública* vol.45 no.2 Rio de Janeiro Mar./Apr.

LIMA, E. B. R. N. et al. Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB. (2016). Disponível em: <http://pmsb106.ic.ufmt.br/>. Acesso em: julho de 2018.

LOBO, A., ARA, F., BARÓ, F., & CAMINO, C. (2012). Geospatial analysis for conservation: applications with open-source software in the Natural Parks of Barcelona. *Applied Geomatics*, 4(2), 113-122.

MAGALHÃES, J. H. F., LIMA, C. E. S., LIMA, J. M. D., & STUDART, T. M. D. C. (2021). Avaliação econometria da efetividade da privatização de Serviços sobre os Índices de Cobertura de Água e Esgoto no Brasil.

MATO GROSSO. Lei nº 7.359, de 13 de dezembro de 2000. Disponível em: <http://apl1.sefaz.mt.gov.br/Sistema/Legislacao/legislacaoIntg.nsf/9469828df5578175842567160014c894/d5d7faa0e0888dd904256b6f0052c781?OpenDocument> Acesso em: junho de 2018

MARRARA, T. (2019). Tarifa mínima para manutenção de serviços públicos de fornecimento de água e de coleta de esgoto: Minimum fees for the maintenance of water supply and sewage collection services. *Revista de Direito Administrativo e Infraestrutura-RDAI*, 3(11), 223-254.

MAYNARD, I. F. N., CRUZ, M. A. S., & GOMES, L. J. (2016). Avaliação da evolução do índice de perdas na distribuição de água nos municípios da bacia hidrográfica do Rio Japarutuba. In Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS, EM SERGIPE, 8., 2015, Aracaju, SE. Anais... Aracaju, SE: Embrapa, 2016.

MEDEIROS, L. E. L., RODRIGUES, A. C. L., BARBOSA, D. L.; FEITOSA, P. H. C.; COURA, M. A. (2020). Avaliação da qualidade do serviço de abastecimento de água em Campina Grande-PB com o uso de indicadores, incluindo o de satisfação dos usuários. Revista DAE. São Paulo. v. 68, n 224, p 135-152. Doi: 10.36659/dae.2020.045

OLIVEIRA, M. L. D. (2016). Desenvolvimento de método para avaliação de desempenho de sistemas de abastecimento de água: aplicação ao caso da RIDE DF e Entorno.

PRADO, I. P. (2021). A gestão de recursos hídricos, a regulação dos serviços de saneamento básico e o federalismo brasileiro.

PEREIRA, B. P., & LOPES, R. E. (2016). Por que ir à Escola? Os sentidos atribuídos pelos jovens do ensino médio. Educação & Realidade, 41, 193-216.

PEREIRA, J. A. R., NAKAZATO, C. D., SANTOS, A. C. P. A., & MUNIZ, S. T. G. (2009). Gestão do lodo de fossa: tanque séptico. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.

SANTOS, L. B. M.; WANDER, A. E. (2014). Serviço de água e esgoto disponibilizado por concessionárias regionais no Brasil. Acesso em: <https://www.researchgate.net/profile/Alcido_Wander/publication/266146553_Servicos_de_a_gua_e_esgoto_disponibiliza-do_por_concessionarias_regionais_no_Brasil/links/54288d840cf26.120b7b56980/Servicos-de-agua-e-esgoto-disponibilizado-por-concessionarias-regionais-no-Brasil.pdf>. Disponível em: janeiro de 2020.

SANINE, P. R., ZARILI, T. F. T., NUNES, L. O., DIAS, A., & CASTANHEIRA, E. R. L. (2018). Do preconizado à prática: oito anos de desafios para a saúde da criança em serviços de atenção primária no interior de São Paulo, Brasil. Cadernos de Saúde Pública, 34, e00094417.

SCHEUER, J. M., DA SILVA NEVES, S. M. A., DOS SANTOS GALVANIN, E. A., & NEVES, R. J. (2018). Desenvolvimento Humano dos Municípios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul Contidos no Bioma Pantanal. Desenvolvimento em Questão, 16(45), 82-96.

SEPLAN - Secretaria de Estado do Planejamento. 2019. Disponível em: http://www.seplan.mt.gov.br/-/10249837-loa-2019?ciclo=cv_orcamento. Acesso em: março de 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico anual de resíduos sólidos. Site institucional, 2007. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos/residuos-solidos>>. Acesso em: abril de 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional. 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. Acesso em: dezembro de 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Site institucional. 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2019>>. Acesso em: março de 2022.

TRATA BRASIL. Água. 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-mundo/agua>>. Acesso em: janeiro de 2020.

TRATA BRASIL. Perdas de água 2018 (SNIS 2016): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: maio de 2019.

TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento Básico 2019 – Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: <https://cebds.org/aquasfera/ranking-do-saneamento-basico-2019-instituto-trata-brasil/?gclid=CjwKCAjwg4-EBhBwEiwAzYAlsja-tlC6omUAjzM2Sp3ptaaLaNr7okyCQGDV9CW3B0qfiGMzXn_DEhoCqKIQA_vD_BwE>. Acesso em: abril de 2021.

TSUTIYA, M. T. (2006). Abastecimento de água. 3ª ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da escola politécnica da Universidade de São Paulo. 2006.

TUROLLA, F. A. (2002). Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas, 26-26.

TUROLLA, F. A. In: PHILIPPI JR., A.; GALVÃO JR., A. C. (2012). Gestão de saneamento básico: Abastecimento de água e esgotamento sanitário. 1º ed. Barueri-SP: Editora Manole Ltda, 2012. p. 521-540.

CAPÍTULO 21

A QUEIMA DA PALHA DA CANA E OS RISCOS DA MODERNIZAÇÃO ECOLÓGICA: TENTATIVAS DE REGULAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO, PERÍODO DE 1980 A 2011

Rafael Aroni

RESUMO

Em 2012, no contexto do embate na revisão do Código Florestal (Lei Nº. 4.771/1965), buscou-se analisar a situação da queima da palha da cana em Decretos e Leis promulgados no Estado de São Paulo, na tentativa de regulação dessa prática, ao longo do período de 1980 a 2011. No presente trabalho são apresentados resultados da análise do conteúdo deste material selecionado. O estudo buscou a reconstrução histórica jurídica da questão ambiental da regulação da queima da palha da cana, ao identificar seus possíveis impactos para o contexto atual; a partir das contribuições da corrente sociológica da sociedade de risco e da perspectiva da sustentabilidade. A queima da palha da cana enquanto técnica para a desfolhagem e como facilitador do corte manual é quinhentenária no Brasil. Nos últimos 20 anos, observa-se o crescente processo de preocupação ambiental com os riscos para saúde humana. Desde a década 1960, através do dispositivo do parágrafo único do artigo número 27, da lei supracitada, foi estabelecido o mecanismo de controle no emprego desta técnica. Ao longo das últimas décadas, é possível observar transformações nas jurisprudências deste dispositivo, corroborados com a emergência de estudos ambientalistas e da vertente sociológica dos riscos da modernização, respaldados também por pesquisas científicas da área da saúde, as quais comprovaram os efeitos nocivos do emprego da queima da palha da cana de açúcar. Coadunado a esta trajetória histórica utilizou-se como referencial teórico, na análise pretendida, a síntese realizada por Lenzi (2006) para conceitos como: a) Modernização Ecológica (ME); b) Desenvolvimento Sustentável (DS); c) Sociedade de Risco (SR). Salienta-se a pertinência do estudo, posto que o quadro da produção estimada da safra de cana 2012/2013 foi de 422,9 milhões de toneladas de cana colhida, no total de 6,74 milhões de hectares (fonte - IEA). Portanto, grande parte do território paulista era ocupada com este tipo de cultivo e ainda persistia a técnica da queima para o preparo da colheita agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: cana de açúcar, políticas públicas, regulação queimada.

INTRODUÇÃO

A queima da palha da cana enquanto técnica para desfolhagem e facilitador do corte manual é quinhentenária no Brasil. Nos últimos anos, observou-se o crescente processo de preocupação ambiental, pela pressão da sociedade civil, com os riscos para saúde humana. Na década 1960, através do dispositivo do parágrafo único do artigo 27 da Lei Nº. 4.771/1965 (Código Florestal) foi estabelecido o mecanismo precaução no emprego do fogo em atividades agropastoris, conforme dispositivo abaixo:

Art. 27 - É proibido o uso de fogo nas florestas e demais formas de vegetação.

Parágrafo único. Se peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução. (BRASIL, 1965).

Ao longo das últimas décadas, é possível observar transformações nas jurisprudências deste dispositivo, principalmente, corroborados com a emergência de estudos ambientalistas e da vertente sociológica, respaldados também por pesquisas científicas⁸ da área da saúde, as quais comprovaram os efeitos nocivos para saúde humana do emprego da queima da palha da cana de açúcar.

Salienta-se a pertinência destes estudos, posto que o quadro da produção estimada da safra de cana 2011/2012 foi de 406 milhões de toneladas de cana colhida, que perfizeram o total de 5,9 milhões de hectares com este plantio. As estimativas para safra 2021/2022 foram de 371,5 milhões de toneladas de cana colhida, cultivadas no total de 6,12 milhões de hectares, segundo os dados de dados de dezembro de 2021, do Instituto de Economia Agrícola. Portanto, grande parte do território paulista é ocupada com este tipo de cultivo e ainda persistia a técnica da queima para o preparo da colheita agrícola, como aponta a tabela a seguir:

Tabela 1 - Área colhida crua, colhida com queima e total colhido no Estado de São Paulo, para período de 2006 a 2011.

| Ano | Crua (ha) | Crua (%) | Queima (ha) | Queima (%) | Total (ha) |
|------|-----------|----------|-------------|------------|------------|
| 2006 | 1.110.120 | 34.2 | 2.131.990 | 65.8 | 3.242.110 |
| 2007 | 1.764.992 | 46.6 | 2.025.448 | 53.4 | 3.790.440 |
| 2008 | 1.924.075 | 49.1 | 1.997.630 | 50.9 | 3.921.705 |
| 2009 | 2.266.403 | 55.6 | 1.810.531 | 44.4 | 4.076.934 |
| 2010 | 2.627.025 | 55.6 | 2.101.110 | 44.4 | 4.728.135 |
| 2011 | 3.125.619 | 65.2 | 1.670.521 | 34.8 | 4.796.140 |

Fonte: CANASTA, Monitoramento da Cana de Açúcar, disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/colheita.html>>. Acessado em: 20 de fevereiro de 2020.

II – A QUESTÃO AMBIENTA PARA SOCIOLOGIA

Na análise pretendida, o referencial teórico utilizado para coadunar a trajetória histórica jurídica na regulação no emprego do fogo na queima da palha, remete a síntese realizada por Lenzi (2006) para conceitos como:

⁸ Em 1997, o Instituto de Química da UNESP de Araraquara publicou a tese de mestrado de Gisele Cristiane Marcomini Zamperlini, intitulada: “*Investigação da fuligem proveniente da queima de cana-de-açúcar com ênfase nos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)*”, no qual a pesquisadora comprova que as queimadas dos canaviais liberam substâncias carcinogênicas e mutagênicas, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

a) Modernização Ecológica (ME) - que pressupõe a conciliação entre o desenvolvimento capitalista e a preservação de recursos ambientais pela convergência no papel do Estado em estabelecer diretivas de regulação.

b) Desenvolvimento Sustentável (DS) – entendida como questão de ordem normativa que reformule a moral, ou seja, as práticas cotidianas, e que atenda às necessidades básicas humanas que visem à justiça social enquanto direito fundamental perseguido pela política ecológica, na democracia contemporânea.

c) Sociedade de Risco (SR) – Postula a crítica à confiança excessiva na segurança preconizada pelo conhecimento da ciência e tecnologia inerentes na etapa contemporânea da modernidade reflexiva. O risco de perigo ou catástrofe iminente é o tópico central a ser observado na prática de ocultação engendrada por agentes do Estado, legitimados pela confiança na racionalidade e técnica humana.

Corroborar com esta perspectiva o debate de Hogan e Viola (1992) em torno do bissetorialismo e multissetorialismo. O primeiro conceito ligado ao movimento ambiental preservacionista, da década de 1970, que preconizava o combate à poluição com práticas restritivas radicais na utilização predatória de recursos naturais. A segunda vertente compreende que o ambientalismo atingiu diversos setores da sociedade (Estado, Mercado e Sociedade Civil), os quais têm um ideal em comum na busca por princípios e práticas que balizem o desenvolvimento sustentável.

III – DA PROIBIÇÃO DA QUEIMA DA PALHA DA CANA DE AÇÚCAR NA DÉCADA DE 1980.

A seguir, apresenta-se o panorama cronológico dos decretos, legislações e protocolos, ao longo do período de 1980 a 2011, para o Estado de São Paulo. Em síntese, tem-se a trajetória histórica que se desdobra: I) do processo proibitivo - década 1980; II) para processo regulatório - década 1990 e de III) eliminação gradual - primeiras décadas 2000.

Podemos sintetizar o período com a ocorrência da proibição do emprego desta técnica com o Decreto Nº. 28.848, de 30 de agosto de 1988:

Artigo 1 - Fica totalmente proibida qualquer forma de emprego de fogo para fins de limpeza e preparo do solo no Estado de São Paulo, inclusive para o preparo do plantio e para a colheita da cana de açúcar.” (grifos nossos)

Neste decreto o caráter proibitivo da prática do uso do fogo fundamentava-se no princípio da *precaução*, posto que elementos como o tempo seco e a ocorrência de ventos fortes corroboravam, no entendimento do Poder Executivo, para o perigo de incêndio incontrolável

em áreas produtivas e nas reservas florestais no território do Estado. Pode-se inferir que tal postura aproxima-se à concepção da modernização ecológica sugerida pelo autor Lenzi (2006, 175); uma vez que ainda não se questionava sobre os riscos do uso do fogo como fonte da poluição atmosférica e seus efeitos nocivos, por outro lado aventavam-se os riscos prejudiciais à fauna silvestre. Desta sorte, o poder executivo utilizou de outros elementos que traduziam a percepção imediata do dano causado ao solo e à vegetação pela queima.

O respaldo jurídico do decreto embasou-se no já citado Artigo 27 da Lei Federal N°. 4.771(Código Florestal). Deste dispositivo é possível sustentar uma ambivalência legislativa da União em proibir: “*o uso do fogo nas florestas e demais formas de vegetação*”, e ao mesmo tempo limitar sua utilização desde que: “*as peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais; a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução*” (grifos nossos).

Quadro 1 – Cronologia dos Atos Administrativos, final da década de 1980, referentes à proibição da queimada da palha da cana de açúcar no Estado de São Paulo.

| Decretos | Poder | Amparo legal | Objetivo |
|----------------------------------|-----------------------|--|---|
| Decreto N°. 28.848 30/08/1988 | Executivo Estadual | Artigo 27 da Lei Federal N°. 4.771, de 15 de setembro de 1965 e Portaria de 8 de setembro de 1986 do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais. | Dispõe sobre a proibição de queimadas na forma que especifica. |
| Decreto N°. 28.895 20/09/1988 | Executivo Estadual | Dispõe sobre a proibição de queimadas na forma que especifica | Acrescenta dispositivo ao Decreto N°. 28.848, de 30 de agosto de 1988 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Principais destaques do Decreto N°. 28.848, de 30 de agosto de 1988:

Considerando que o atual período de estiagem prolongada está propiciando o aumento do perigo de incêndio nas propriedades do Estado, em suas florestas e demais formas de vegetação”;

Considerando que essas áreas e bens são de interesse comum a todos os habitantes do País e que, nas condições da seca que atinge a todo o território nacional, os ventos que se formam assolam as áreas produtivas e ecológicas em rodamosinhos que superam quaisquer barreiras que possam constituir eventuais impedimentos à danosa propagação do fogo;

Considerando que é dever indeclinável do Estado proteger suas áreas produtivas e ecológicas, atual e parcialmente destruídas pelo mau uso do fogo, cuja prática, mesmo que administrativa, acarreta sérios prejuízos à terra e ao meio ambiente.

Decreta: Artigo 1: Fica totalmente proibida qualquer forma de emprego de fogo para fins de limpeza e preparo do solo no Estado de São Paulo, inclusive para o preparo do plantio e para a colheita da cana de açúcar. (DECRETO ESTADUAL N°. 28.848, 20/09/1988, grifos nossos)

Com observado o respaldo jurídico do decreto tem embasamento no Artigo 27 da Lei Federal Nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o Código Florestal. Nesse sentido, a competência suplementar da legislação estadual concorre com as normas hierárquicas superiores com vistas a reiterar o caráter proibitivo, ao apresentar critérios de precaução à estiagem e risco de incêndio florestal. Essa relação de concorrência entre os entes federados é prevista pelo artigo 24, inciso VI da Constituição Federal/1988:

Art. 24. Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre:

VI – florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição. (BRASIL, CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).

Assim, como o Código Florestal (1965) apresenta a ambivalência sobre o tema do uso do fogo, ao proibir: “*o uso do fogo nas florestas e demais formas de vegetação*”, e ao mesmo tempo liberar sua utilização desde que: “*as peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais; a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução*”.

Ressalta-se ainda sobre o Decreto Estadual Nº. 28.848, do governo Orestes Quécia (1987-1991), a percepção ambiental de que a utilização do fogo como forma administrativa, ou seja, de manejo para etapas da cultura agrícola, “*acarreta sérios prejuízos à terra e ao meio ambiente*”. Reafirma-se que os danos e prejuízos naquele momento eram percebidos na destruição da flora e da fauna e não como poluição atmosférica como nas atuais jurisprudências sobre a questão. Salienta-se deste período, que o emprego de fogo como técnica para despalha da cana de açúcar foi proibido expressamente no corpo da lei.

O lobby dos usineiros fez-se sentir com Decreto Nº. 28.895 (20/09/1988), que em apenas 21 dias após a proibição, conseguiu excetuar à queima da palha da cana de açúcar para colheita. O dispositivo legal apresentado encontrava respaldo nas atribuições previstas no próprio Código Florestal (1965) que nessa interpretação prevê a complementaridade de circunscrever a área para queima estabelecendo normas de precaução, como é apresentado abaixo:

Parágrafo único - Não incide na proibição do "caput" deste artigo as queimadas destinadas à eliminação dos restos de cultura das lavouras de algodão e as destinadas, exclusivamente, à colheita de cana-de-açúcar, desde que se observem as seguintes medidas e sem prejuízo da observância de todas as normas de proteção ambiental.

I - notificação da Polícia Florestal e de mananciais mais próxima e aviso aos vizinhos com, pelo menos, 48 (quarenta e oito) horas de antecedência;

II - execução de aceiros, com largura mínima de 10 (dez) metros isolando as seguintes áreas:

- a) divisas de propriedade;
- b) florestas e demais formas de vegetação de preservação permanente;
- c) faixas de domínio de estradas públicas;

- d) unidades de conservação ambiental ;
- III - execução de aceiros ao longo das linhas de alta tensão nas classes de: 15; 34,5; 69 e 138 kV, obedecidas as seguintes larguras de faixas:
 - a) 15 kV = 20 metros (10m de cada lado do eixo da linha)
 - b) 34,5/69/138 kV = 50 metros (25m de cada lado do eixo da linha)
 - c) Ao redor das subestações de energia elétrica numa faixa de 50 metros: IV - manutenção de turmas de vigilância devidamente equipadas para o controle da propagação do fogo e
 - V - vedação da queima em uma faixa de 1 (um) quilômetro do perímetro urbano das cidades (DECRETO ESTADUAL N°. 28.848, 20/09/1988).

Portanto, nesse decreto o caráter proibitivo da prática do uso do fogo fundamenta-se, principalmente, no conceito de precaução, posto que elementos como o tempo seco e a ocorrência de ventos fortes corroboram o entendimento do poder executivo para o perigo de incêndio incontrolável em áreas produtivas e nas reservas florestais no território do Estado. Tal postura se aproxima à concepção da modernização ecológica sugerida pelo autor Lenzi (2006,p.175), uma vez que diante da incerteza científica provisória sobre os riscos do uso do fogo como fonte da poluição atmosférica, o poder executivo utilizou outros elementos que traduzem a percepção imediata do dano causado ao solo e vegetação.

IV - A REGULAÇÃO DA QUEIMA DA PALHA DA CANA, NOS ANOS DE 1990 A 2000.

No período do governo Fleury (1991-1994), embora a existência da Lei N°. 8.421, visaram-se especificamente medidas para preservação do solo agrícola. Na Lei N° 8.421 foi apontada a mudança da percepção do Estado que passa a “*tolerar a queimada*”, cuja prática justificava-se pelo interesse social de garantir e “facilitar” o trabalho do cortador de cana. Entretanto, a lei preconiza sua substituição por “*tecnologias modernas*”, o que na primeira década do ano 2000 será a condição *sine qua non* para transição da colheita manual para mecanizada, mediante cronograma de eliminação gradativa da queima. As normas regulamentares das situações restritivas para queimada, prescritas na lei, seriam sancionadas somente quatro anos depois com Decreto N°. 41.719 (16/04/1997).

É interessante apontar que pela perspectiva do conceito de Sociedade de Risco, naquele momento o Estado desenharia uma política ecológica que passa a depositar confiança irrestrita na tecnologia. É feita apenas a ressalva do risco social dela gerar o desemprego de grandes contingentes de trabalhadores rurais. Talvez, seja possível conjecturar que a cautela em nomear a tecnologia por “mecanização da colheita” no próprio decreto, se deva ao ciclo de greves: 1984 - Guariba/SP, 1986 - Leme/SP e a partir de 1991, tecnologia esta difusa nas principais áreas do Estado. Portanto, há uma imbricação das demandas ambientais da sociedade civil, inseridas para legitimar processos de aperfeiçoamento tecnológico no bojo, novamente, do processo de

atualização da modernização conservadora, com exclusão social de parcelas significativas de trabalhadores (GONÇALVES, 1999). Assim, o desenvolvimento técnico estaria na pauta do discurso ambientalista. No reverso do mesmo processo, a crescente exclusão social de parcelas significativas da população que ainda teriam no corte de cana, único acesso a condição do precário assalariamento.

Quadro 2 – Cronologia dos Atos Administrativos do Poder Públicos, na década de 1990, referentes à regulação da queima da palha da cana de açúcar.

| Leis, Decretos e Resoluções | Poder | Objetivo |
|----------------------------------|----------------------|--|
| Lei Nº. 8.421 23/11/1993 | Legislativo Estadual | Altera a redação de dispositivos da Lei Nº. 6171, de 4 de julho de 1988, que <u>dispõe sobre uso, conservação e preservação do solo agrícola e dá outras providências.</u> |
| Resolução Nº. 3 07/04/1997 | Executivo Estadual* | <u>Disciplina o uso de fogo controlado como prática fitossanitária.</u> |
| Decreto Nº. 41.719 16/04/1997 | Executivo Estadual | Regulamenta a Lei Nº. 6.171, de 04/07/1988, alterada pela Lei Nº. 8.421, de 23/11/1993, que <u>dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.</u> |
| Decreto Nº.42.056 06/08/1997 | Executivo Estadual | Altera a redação do artigo 5º do Decreto Nº. 41.719, de 16 de abril de 1997 que regulamentou a Lei Nº. 6.171, de 4 de dezembro de 1988, alterada pela Lei Nº. 8.421, de 23 de novembro de 1993, <u>que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.</u> |
| Decreto Nº.2.661 08/07/1998 | Executivo Federal | Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei Nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o <u>estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências</u> |

Fonte: Elaborado pelo autor.

*Resolução conjunta Secretaria da Agricultura e Abastecimento e do Meio Ambiente.

Principais destaques da Lei Nº. 8.421 -23/11/1993 são:

Artigo 4º - Todo aquele que explorar o solo agrícola fica obrigado à:

...VI - evitar a prática de queimadas, tolerando-as, somente, quando amparadas por norma regulamentar;”

...§ 2º - O Poder Executivo, no regulamento desta lei, definirá as hipóteses em que a prática das queimadas será tolerada, as condições para a realização das queimadas ali previstas e fixará prazo para sua proibição quando, verificado o interesse social, for possível a substituição dessa prática por tecnologias modernas. (SÃO PAULO, Lei Estadual, Nº. 8.421 -23/11/1993 grifos nossos).

Após quatro anos, o governo de Mario Covas (1995-2001) adota Resolução Conjunta Nº. 3 (07/04/1997) entre a Secretaria da Agricultura e Abastecimento e a Secretaria de Meio Ambiente. Ela apresenta sete considerações iniciais que buscam regular (disciplinar) o uso do fogo como medida fitossanitária, uma vez que no Decreto Nº. 28.0895 (20/09/1988) não fora estipulada a proibição do emprego do fogo para esse fim específico. Esse ato administrativo tem embasamento legal no dispositivo dos artigos 27 ao 46 do Decreto Federal Nº. 24.114 / 1934, que regulamenta o uso do fogo como defesa sanitária vegetal, no caso de erradicar e prevenir a disseminação de doenças. No cenário desta Resolução a CATI – Coordenadoria de

Assistência Técnica Integral - concederia as autorizações. Segundo o texto da Resolução N.º 3 - 07/04/1997 tem-se que:

Considerando que o Decreto Estadual N.º 28.848 de agosto de 1988, ao proibir o emprego de fogo para fins de limpeza e preparo do solo, salvo para eliminação dos restos de cultura de algodão e destinadas à colheita de cana de açúcar, não proibiu seu uso em práticas fitossanitárias em face de seu relevante interesse público (CATI Resolução N.º 3 - 07/04/1997 grifos nossos).

Um novo marco regulatório foi estabelecido com o Decreto Estadual N.º 41.719, (16/04/1997), o qual teve como principal diretriz estabelecer um conjunto de normas racionais para o uso, conservação e manutenção do solo agrícola. De maneira geral, o caráter do documento se aproxima da ideia de *modernização ecológica* enquanto princípio organizador, ou seja, caberia ao Estado ditar as regras para a “*manutenção do capital natural crítico*”, que nesse caso é o solo agrícola. Como sugere o sociólogo Lenzi (2006):

[...] capital natural crítico diz respeito a materiais, processos ou serviços ambientais que são essenciais à sobrevivência e ao bem estar humano e que não podem ser produzidos pelos seres humanos. O que não impede que eles não possam vir a sofrer o impacto de nossas práticas ou ser objeto de nosso controle (p.97).

Nos termos do Decreto Estadual N.º 41.719 (16/04/1997) temos que o solo é um recurso econômico que ocupa extensas áreas do território paulista e que dificilmente poderá ser repostado se utilizado de forma inadequada, assim temos que:

Artigo 3º - A política de uso racional do solo constitui-se no conjunto de objetivos, normas, procedimentos e ações encetadas pelo poder público, visando à manutenção e melhoria do potencial produtivo do solo agrícola. (Decreto Estadual N.º 41.719 - 16/04/1997)

Esse modelo de política desenhada reafirmaria sua concepção de modernização ecológica, já que se buscava através da regulação e controle conciliar desenvolvimento econômico da atividade agrícola em escala industrial com iniciativas que minorassem os impactos negativos aos serviços ambientais do solo agricultável. Novamente, a regulação estabelecida pelo Estado previu a proibição da queima como técnica de despalhamento da cana, e também no mesmo texto que a proibiu, ela é permitida em “*caráter transitório*”. Na redação do decreto N.º 41.719 (16/04/1997) temos apenas a alteração da palavra “tolerância”, que constava Lei N.º 8.421 (23/11/1993) para uma “prática permitida” desde que cumpridas as normas estabelecidas pelo Estado: “*VI – evitar a prática de queimadas, praticando-as, somente nas hipóteses previstas neste decreto*”. Atenuando ainda mais o efeito proibitivo, a pressão do *lobby* do setor agroindustrial sobre o Estado leva situação do parágrafo primeiro, artigo 5º do decreto em análise, no qual a queima da palha da cana é proibida e ao mesmo tempo permitida em caráter de excepcionalidade. Tal como no governo Quéricia (1987-1991) e Fleury (1991-1994), a prática foi proibida para ser permitida de forma transitória.

Artigo 5º - As queimadas deverão ser evitadas e só serão toleradas quando autorizadas previamente pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento desde que:

I - caracterizem medida fitossanitária que exija destruição de restos culturais;

II - problemas de ordem social exijam a sua prática em caráter transitório;

III - caracterizem a medida fitotécnica eventual mais adequada a situação em questão.

§ 1º - **A prática da despalha da cana-de-açúcar através de sua queima, como método auxiliar da colheita está proibida no Estado de São Paulo, admitida apenas excepcionalmente e em caráter transitório, na seguinte:**

1 - em áreas em que a colheita é mecanizável, a redução da prática da queima será efetuada ao ritmo de 25% da área com essa característica a cada 2 (dois) anos, exigindo-se um mínimo de 10% de eliminação no primeiro ano, de tal maneira que, ao fim de 8 (oito) anos, a queima da cana nessas áreas esteja completamente eliminada;

2 - em áreas em que a colheita não é mecanizável, a redução da prática da queima será efetuada ao ritmo de 13,35% a cada 2 (dois) anos, de tal maneira que, ao fim de 15 (quinze) anos, a queima de cana nessas áreas esteja completamente eliminada;
(Decreto Estadual Nº.41.719 de 16/04/1997- grifos nossos).

Ainda do artigo 5º do referido decreto, destaca-se que o termo “*caráter transitório*” iniciou o processo de regulação com vistas à redução gradual da queima da cana, em um prazo mais curto de tempo em dois tipos de canaviais. Assim, teríamos que em 2005 findaria a permissão para queimada em áreas mecanizáveis e em 2015 para áreas não mecanizáveis. Contudo é possível supor que a crise econômica de 1999 repercutiu neste contexto, com a elevação da taxa desemprego e o encarecimento de implementos agrícolas, bens de capitais e queda da renda agrícola e endividamento do setor o que forçou a abertura de capitais a participação estrangeira, e adiou aquela medida.

Outro ponto importante foi que o decreto pela primeira vez condicionou explicitamente a transição da técnica de queima pela utilização da técnica de colheita mecanizada, na razão cumulativa de 25% a cada dois anos, nos terrenos mecanizáveis, ou seja, com topografia de até 12% de inclinação (esse era o índice limite para que não houvesse perdas significativas e o maquinário tombasse) e de 13,35%, nos terrenos não mecanizáveis, também acumulativa a cada dois anos.

Na análise do Decreto N.º 42.056 (06/08/1997) tem-se que ele acrescentou sete considerações da conjuntura ambiental, política, social e econômica na eliminação gradativa da queima, das quais se destacam a não adoção da mecanização integral no curto prazo, pois haveria graves efeitos sociais com o desemprego. Por outro lado, a gradual transição, atente ao interesse econômico dos setores agroindustriais, ao lançar e acirrar a competição entre homens e máquinas (SANT’ANA, 2009; SILVA, 2004).

Considerando que a queima dos canaviais como prática auxiliar de sua colheita produz emissões que alteram desfavoravelmente a qualidade do ar;

Considerando que a despalha pré-colheita da cana-de-açúcar através de sua queima é prática tradicional dessa cultura;

Considerando que a mecanização da colheita será a tecnologia adotada para eliminar a despalha por queima sem comprometer a competitividade internacional do setor;
Considerando que a colheita manual de cana-de-açúcar emprega a maior quantidade da força de trabalho rural no Estado de São Paulo;
Considerando que a mecanização da colheita da cana, adotada de maneira abrupta, causaria imenso problema de ordem social, já que centenas de milhares de empregos seriam imediatamente eliminados, sem tempo para absorção dessa mão de obra por outros setores da economia regional;
Considerando que não existem condições objetivas para adoção abrupta e imediata da colheita mecânica da cana-de-açúcar, tais como disponibilidade de colhedoras, disponibilidade de capital para aquisição de colhedoras e disponibilidade de canais adaptados à colheita mecânica. (Decreto Estadual Nº. 42.056 - 06/08/1997, grifos nossos).

No final da década de 1990, o governo de Fernando Henrique Cardoso (1994-2002) promulgou o Decreto Nº. 2.661 de 08/07/1998, que buscou regulamentar as normativas de precaução para o uso do fogo em cinco capítulos, conforme determinava o Artigo 27 do Código Florestal (1965). A alteração em relação aos decretos estaduais foi permitir o uso do fogo em práticas agropastoris e florestais mediante à “*queima controlada*”. Ao adjetivar a prática do uso do fogo, a lei, supostamente, definiu o termo controle respaldada pelo conhecimento científico. Isso pode ser observado na definição do conceito de queima controlada:

Art. 2º... Parágrafo único – Considera-se Queima Controlada o emprego do fogo como fator de produção e manejo em atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas com limites físicos previamente definidos. (Decreto Federal Nº. 2.661 08/07/1998).

De imediato destaca-se uma nova especificidade para o uso do fogo, “*para fins de pesquisa científica e tecnológica*”. O decreto estipulou também que condicionantes como: circunscrever um espaço através de barreiras com aceiros, prever os horários do dia com temperaturas baixas e umidade relativa do ar alta, além de ventos direcionados, seriam operações de responsabilidades das equipes de segurança para o emprego do fogo.

O SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente) passaria a emitir as autorizações para queima controlada, sem a necessidade da elaboração do EIA- RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto ao Meio Ambiente). Autorização previa ainda vistoria prévia obrigatória somente para casos de proximidade a áreas de proteção permanente. Nas demais áreas a vistoria teria o prazo de 15 dias para ser realizada. Expirado esse tempo a queima controlada seria autorizada automaticamente, mesmo sem a licença ter sido expedida pelo SISNAMA. Essa brecha na lei foi duramente criticada por promotores de justiça, posto que o que importa seria mera comunicação formal da queima, já que o Estado não tem técnicos suficientes para fazer a vistoria prévia e emitir a autorização de queima.

Ainda no Decreto Federal Nº. 2.661 (08/07/1998), no capítulo IV – *Da redução gradativa do emprego do Fogo* - modificou o Decreto Estadual Nº. 41.719 (16/04/1997), ao

estipular a razão acumulativa de 25% de eliminação gradual da queima da palha da cana em áreas mecanizáveis (com até 12% de inclinação do solo) de dois anos para o prazo de cinco. É preponderante na lei a preocupação socioeconômica até mais do que a questão ambiental com as mudanças advindas dessa substituição de técnicas para colheita. Isso pode ser traduzido pelo fato do prazo para eliminação em terrenos mecanizáveis ter sido estendido de 8 para 20 anos e as adaptações em terrenos não mecanizáveis nem ser mencionada. Portanto, pode-se ponderar que a questão social do desemprego preponderou nessa decisão. Contudo, não se faz aqui a defesa da postura do Estado, dado as condições de graves violações aos direitos humanos presentes nesta atividade agrícola e a omissão em se criar políticas públicas compensatórias e de seguridade social para minorar os efeitos desta transição, para os trabalhadores canavieiros.

V - A ELIMINAÇÃO GRADUAL DA QUEIMA DA PALHA DA CANA, NAS PRIMEIRAS DÉCADAS DE 2000

Nesta apresentação cronológica das modificações jurídicas sobre questão é possível apontar para a primeira década do ano 2000, em 15 atos administrativos, que quando comparado às duas décadas anteriores, aponta para emergência da questão ambiental nas agendas políticas, e em específico, o controle e eliminação gradual da técnica da queimada da palha da cana. De forma breve é possível inferir a posição do Estado junto à perspectiva da Modernização Ecológica, na qual o Estado torna-se agente de processo que busca regulamentar a atividade da queima em caráter complementar as diretrizes Federais sobre o meio ambiente.

A Lei Estadual Nº. 11.241 (19/09/2002) torna-se o novo marco institucional ao alterar novamente o percentual de eliminação gradativa da técnica de queima para despalha, que passa a ser uma razão variável, com 20% no primeiro ano, acrescida de 10% no quinto ano e depois acrescida à razão de 20% a cada cinco anos até perfazer os 100%. O prazo de transição total foi aumentado para 30 anos, contudo postergado para a data de 2021 para áreas mecanizáveis e 2031 para áreas não mecanizáveis.

A diferença principal que a Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002 apresentou em relação aos Decretos Estaduais Nº. 41.719 de 16/04/1997 e Federal Nº. 2.661 - 08/07/1998 foi à informação visual de dois cronogramas para a eliminação gradativa da queima nos respectivos tipos de canaviais, cronogramas que foram transformados em uma única tabela para melhor visualização comparativa. Novamente, se condicionou a eliminação da técnica de queima para despalhamento à utilização da técnica de colheita mecânica nas áreas com gradiente de eliminação estipulado. Isso ficou explícito também no corpo da lei:

§ 1º - Para os efeitos desta lei consideram-se:

1 - áreas mecanizáveis: as plantações em terrenos acima de 150 ha (cento e cinquenta hectares) com declividade igual ou inferior a 12% (doze por cento), em solos com estruturas que permitam a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte de cana;

2 - áreas não mecanizáveis: as plantações em terrenos com declividade superior a 12% (doze por cento), em demais áreas com estrutura de solo que inviabilizem a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte de cana. (Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002, grifos nossos).

Tabela 1 – Cronograma de eliminação da queima da palha da cana no Estado de São Paulo.

| ANO | <u>ÁREA MECANIZÁVEL ONDE NÃO SE PODE EFETUAR A QUEIMA DA QUEIMA</u> | PERCENTAGEM DE ELIMINAÇÃO | <u>ÁREA NÃO MECANIZÁVEL, COM PERCENTAGEM DE ELIMINAÇÃO DA QUEIMA E DECLIVIDADE SUPERIOR A 12% E/OU MENOR DE 150ha (cento e cinquenta hectares) ONDE NÃO SE PODE EFETUAR A QUEIMA</u> | PERCENTAGEM DE ELIMINAÇÃO DA QUEIMA |
|----------------|---|----------------------------|--|-------------------------------------|
| 1º ano (2002) | 20% da área cortada | 20% da queima eliminada | - | - |
| 5º ano (2006) | 30% da área cortada | 30% da queima eliminada | - | - |
| 10º ano (2011) | 50% da área cortada | 50% da queima eliminada | 10% da área cortada | 10% da queima eliminada |
| 15º ano (2016) | 80% da área cortada | 80% da queima eliminada | 20% da área cortada | 20% da queima eliminada |
| 20º ano (2021) | 100% da área cortada | Eliminação total da queima | 30% da área cortada | 30% da queima eliminada |
| 25º ano (2026) | - | - | 50% da área cortada | 50% da queima eliminada |
| 30º ano (2031) | - | - | 100% da área cortada | 100% da queima eliminada |

Fonte: Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002.

Assim, é possível inferir que o governo de Geraldo Alckmin (mandato 2002-2006) toma o comando da regulação na perspectiva de Modernização Ecológica, ao acrescentar na definição do conceito de áreas mecanizáveis, além do critério restritivo da inclinação de 12%, o critério de indução, ao sugerir que nos solos que seja possível a mecanização, ela deve ser realizada: “em solos com estruturas que **permitam** a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte de cana” (Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002). Para reforçar essa percepção observa-se que a técnica de mecanização para as duas situações é adjetivada, naquele momento, como já sendo usual e habitual.

Destacam-se pontos interessantes da Lei: primeiro, a incorporação na lei de medidas atenuantes de segurança e responsabilidade com vista à ocultação da percepção do incômodo gerado pela queima (fumaça e “carvãozinho”) na população residente no entorno de canaviais;

Art. 5º - O responsável pela queima deverá:

I – Realizar a queima preferencialmente no período noturno, compreendido entre o pôr e o nascer do sol, evitando-se os períodos de temperatura mais elevadas e respeitando-se as condições dos ventos predominantes no momento da operação de

forma a facilitar a dispersão da fumaça e minimizar eventuais incômodos à população. (Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002, grifos nossos).

Essa medida conseguiu neutralizar potenciais conflitos ambientais. Isso porque, em 1997, o Instituto de Química da UNESP de Araraquara publicou a tese de mestrado de Gisele Cristiane Marcomini Zamperlini, intitulada: “*Investigação da fuligem proveniente da queima de cana-de-açúcar com ênfase nos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)*”, no qual a pesquisadora comprova que as queimadas dos canaviais liberam substâncias carcinogênicas e mutagênicas: os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

Para estancar o impacto desse conhecimento científico num evento desencadeante na percepção da sociedade do risco da queimada, é possível inscrever a Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002, num “*processo social de renaturalização do risco da poluição*” (LEITE LOPES, 2004, 228). Em que o Estado reelabora a funcionalidade dessa prática, tirando-lhe o caráter de fonte poluidora ao imputar à responsabilidade aos que utilizam dela, em proceder de forma a minorar seus efeitos visíveis (fumaça) a população. O perigo manifesto a saúde humana é ocultada pela queima em períodos noturnos e a ventos favoráveis para dispersão das partículas poluentes e cancerígenas.

Porém, talvez para evitar futuras tensões com a opinião pública é criado nessa lei um dispositivo favorável à luta ambiental para preservação da qualidade do ar.

Art. 7º - A autoridade ambiental determinará a suspensão da queima quando:
I – constatados e comprovados risco de vida humana, danos ambientais ou condições meteorológicas desfavoráveis;
II – a qualidade do ar atingir comprovadamente índices prejudiciais à saúde humana, constatados segundo o fixado no ordenamento legal vigente. (Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002).

Segundo, em relação aos potenciais conflitos da ordem social, com a eliminação gradual de postos de trabalho de canavieiros. Além de prorrogar ao máximo a eliminação em 30 anos, a lei estabeleceu diretrizes de parceria com municípios e sindicatos para requalificação e reinserção profissional dos trabalhadores. Ironicamente sugere que as novas tecnologias tenham impacto social diminuto no número de desempregados. E por fim é interessante ressaltar que pela primeira vez o Estado sinaliza outro interesse econômico no processo de transição. A eliminação da queimada como técnica de despalhamento fornecerá biomassa para produção de energia elétrica. Assim, da queima da palha dispersa, ter-se-ia a queima centralizada nas caldeiras, que pressupõe o consumo de combustível fóssil pelas máquinas para a despalha, eleiramento, carregamento e transporte dela. Há que se conjecturar o surgimento de nova figura de trabalhadores, aqueles responsáveis pelo recolhimento da palha, enquanto fonte de material combustível para termoelétricas.

Artigo 10 - O Poder Executivo, com a participação e colaboração dos Municípios onde se localizam as agroindústrias canavieiras e dos sindicatos rurais, criará programas visando:

I - à requalificação profissional dos trabalhadores, desenvolvida de forma conjunta com os respectivos sindicatos das categorias envolvidas, em estreita parceria de metas e custos;

III - ao desenvolvimento de novos equipamentos que não impliquem dispensa de elevado número de trabalhadores para a colheita da cana-de-açúcar;

IV - ao aproveitamento energético da queima da palha da cana-de-açúcar, de modo a possibilitar a venda do excedente ao sistema de distribuição de energia elétrica (Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002, grifos nossos).

O Decreto Estadual Nº. 47.400 - 04/12/2002 estabelece os custos a serem pagos pelos serviços de vistoria por funcionário do Estado para conceber a autorização para a queima da palha. Posteriormente os pequenos produtores (propriedades com menos de 100 hectares) ficam isentos dessa taxa.

O Decreto Nº. 47.700 -11/03/2003 é uma reedição da Lei Estadual Nº. 11.241 - 19/09/2002 acrescentadas algumas modificações pontuais. Por exemplo, torna-se obrigatório a apresentação de laudo técnico emitido pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento que comprove a impossibilidade de mecanização do terreno. No que tange a questão ambiental é especificado que a largura dos aceiros deverá ser ampliada nas proximidades de reservas legais e de proteção ambiental:

Artigo 5º - A largura dos aceiros, referidos no § 2º do artigo anterior, será ampliada quando a queima se realizar em locais confrontantes com:

I - áreas de preservação permanente dos cursos d'água, das lagoas, dos lagos, dos reservatórios d'água naturais ou artificiais e das nascentes, ainda que intermitentes e dos chamados "olhos d'água", a que se refere o artigo 2º da Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), devendo o aceiro ser de 6 (seis) metros;

II - áreas de reserva legal a que se refere o artigo 16 da Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), devendo o aceiro ser de 6 (seis) metros (Decreto Nº. 47.700 -11/03/2003).

O Decreto Estadual Nº. 49.391- 21/02/2005 modifica o grau de complexidade do serviço de análise para autorização da queimada do nível 4 para 1. Isso implica na diminuição do preço pago pelos produtores em canaviais com mais de 100 hectares aos técnicos do Estado, uma vez que a quantidade mínima de horas exigidas para análise passa de 16 para 4. Para os pequenos produtores (até 30 hectares) ficam isentos do pagamento da vistoria. Em menos quinze dias, o Decreto Estadual Nº. 49.446 - 07/03/2005 isenta os proprietários de 100 hectares e fornecedores de cana do pagamento da taxa de vistoria e autorização para queima.

No intervalo entre os dois decretos anteriores a Secretaria de Meio Ambiente aprovou a Resolução 12 – 11/03/2005, na qual estipula os procedimentos técnicos de informática para se preencher o formulário de requerimento eletrônico da comunicação prévia para queimada. Tal

comunicação seria remetida e sancionada pelo DEPRN – Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais.

O período mais recente do governo Serra (2007-2010) apontou a continuidade da perspectiva do poder executivo em tentar influenciar a regulação das atividades agrícolas do setor canavieiro, também dentro da concepção do Desenvolvimento Sustentável e da Modernização Ecológica. Foram lançados dois protocolos como mecanismos voluntários de adesão às metas que antecipem os prazos da eliminação gradual da queimada, com incentivos fiscais para aquisição de maquinários.

A Resolução Estadual Nº. 33 -21/06/2007 da Secretaria de Meio Ambiente frente à expansão da área plantada que comprometeu as metas do Decreto Estadual N.º47.700 – 11/03/2003. Proibiu a prática da queima pré-colheita para novas usinas, como condicionante na emissão de licenciamentos ambientais. Estes serão expedidos pelo DEPRN.

Na Resolução Estadual Nº. 34 -02/07/2007 da mesma Secretaria buscou-se novamente “*renaturalizar o risco da poluição*” ao proibir a queima da palha da cana com uma série de pontos condicionantes. Assim, entre os dias seis de julho a quinze de outubro de 2007 a suspensão da queima ficou definida confusamente por seis situações distintas nas quais se relacionavam critérios regionais da umidade relativa do ar nos três diferentes períodos do dia. Em suma, a resolução ironicamente define indiretamente quais as janelas temporais do dia, levada em conta a umidade do ar, em que seria permitida a queima da palha.

Em março de 2007 foi lançado o programa Etanol Verde pelo governo do Estado. A diretriz central foi a assinatura do Protocolo Agroambiental do Setor Canavieiro Paulista.- 04/06/2007 que antecipa os prazos finais para prática da queima da palha, em áreas mecanizáveis de 2021 para 2014 e nas não mecanizáveis de 2031 para 2017. O mecanismo de adoção voluntária foi firmado entre o Estado e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (principal setor produtor). Nele são apresentadas 3 considerações iniciais:

1 - A atividade da agroindústria da cana-de-açúcar tem relevante importância no Estado de São Paulo, contribuindo significativamente para o seu desenvolvimento econômico, social e a geração de empregos, renda, divisas e tributos, distribuídos por toda sua cadeia produtiva;

2 - As mudanças climáticas globais exigem medidas de responsabilidade entre agentes públicos e privados para evitar o agravamento das condições ambientais e a consequente queda da qualidade de vida da população, entre as quais o estímulo ao uso de combustíveis de fontes renováveis;

3 - O planejamento da expansão da agricultura energética, nos seus aspectos agroambientais, é necessário para o ordenado desenvolvimento da economia paulista, de forma sustentável, com base na parceria entre instituições públicas e privadas; (Protocolo Agroambiental do Setor Canavieiro Paulista. - 04/06/2007).

A lógica dessa conjuntura é legitimar o discurso do desenvolvimento sustentável, criando o novo conceito “*agroambiental*” que sintetiza a possível conciliação entre o desenvolvimento econômico pela suposta regulação da expansão agroindustrial no campo. Seria uma tentativa de mitigar os efeitos do agronegócio e fazer frente à agroecologia, bandeira dos movimentos sociais pela terra. O processo deixa implícito:

a) a falácia da eliminação do corte manual pelo mecanizado como forma de minorar potenciais conflitos pelos trabalhadores, já que esses serão eliminados do eito junto com a proibição gradativa da queima da palha da cana de açúcar, sem qualquer política compensatória. A política ecológica oculta à política de exclusão definitiva.

b) a eliminação da técnica da queima para despalha justifica-se pela preocupação do setor em preservar a palha, pois ela agora passa a ter valor econômico por se transformar em biomassa geradora de energia elétrica. Sendo o excedente uma nova fonte de lucro para as usinas. Não nos surpreenderá se uma nova categoria de trabalhadores surgir: os catadores manuais de palha da cana de açúcar crua (não queimada), serviço que será semelhante ao dos bituqueiros (responsáveis por coletar pequenos tocos de cana que as máquinas colheitadeiras deixam cair);

c) Por ironia do destino a conjuntura desfavorável do aquecimento global é apropriada como fator desencadeante da preocupação ambiental do setor em utilizar mais fontes de energia não renovável (diesel) em tratores, colheitadeiras, eleiradoras e caminhões para produção de energia renovável, como pode ser observada na afirmação das Diretrizes Gerais que oculta os riscos do processo produtivo.

Para finalizar essa questão dos mecanismos mitigantes da poluição e aquecimento atmosférico, cabe alertar que por motivos óbvios (não reconhecer que a queimada é uma fonte de poluição), a Resolução CONAMA N.º 382 – 26/12/2006 - que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas - controla apenas a emissão de material particulado (óxido de nitrogênio) na queima do bagaço da cana e ainda não disciplina quais os materiais poluentes da emissão para queima da palha da cana que deverão ser monitorados.

Em março de 2008 é assinado o um novo Protocolo Agroambiental, entre o governo de Estado e a Organização dos plantadores de Cana da Região Centro Sul do País (principal fornecedora de cana do país). Nele foram acrescentados quatro novos pontos que alertam contraditoriamente que a redução abrupta da queima da palha pode implicar em prejuízos econômicos para os pequenos e médios fornecedores de cana. Impossibilidade de financiar

maquinário para colheita mecânica e competir com os 8% de fornecedores que produzem 90% da colhida no Estado. Implicitamente é apresentado como consequência positiva do processo de mecanização, o surgimento de outra fonte de renda, a palha não queimada “*num momento em que o setor se encaminha para a utilização total da energia da matéria prima*”. A seguir apresentamos as considerações:

3 - O etanol é fonte de energia renovável, sendo opção economicamente viável para a mitigação do efeito estufa e importante instrumento para a prevenção e controle da poluição atmosférica.

4 – Os pequenos fornecedores que entregam até 12.000 mil toneladas de cana, com uma área de até 150 hectares, representam 92% do total de fornecedores e apenas 10% da produção de cana-de-açúcar paulista;

5- A redução abrupta do uso do fogo como método despalhador da cana-de-açúcar poderá implicar aos pequenos produtores rurais em exclusão do processo produtivo pela falta de tempo hábil de se adaptar à transição da cana queimada para cana crua, aumentando, conseqüentemente a concentração de renda na área rural, num momento em que o setor se encaminha para a utilização total da energia da matéria-prima.

6 – A colheita de cana crua, manual ou mecanizada, apresenta um custo mais elevado, além de aumentar o teor de impurezas vegetais da matéria-prima, diminuindo a qualidade e o seu preço e, conseqüentemente a renda do produtor rural.

7 – A viabilidade da colheita mecanizada não depende somente da declividade e sim do módulo da propriedade e sistematização das áreas, da disponibilidade do mercado de equipamentos compatíveis ou auxiliares na colheita de pequenas áreas, entre outros fatores e, principalmente, da conscientização dos produtores em relação ao cooperativismo e associativismo, como formas de organização para assegurar a permanência na atividade de maneira sustentável. (Protocolo Agroambiental do Setor Canavieiro Paulista. - 04/06/2007).

A Resolução Nº. 38 - 16/05/2008 da Secretaria de Meio Ambiente reitera o poder do Estado em conceder a autorização para queima da palha, e tenta impedir o efeito em cascata da ação civil pública, a qual pedia de tutela antecipada da queima e foi julgada favorável pelo Tribunal Regional Federal. Pelos entendimentos dos quais sustentam a ação, a queimada é um ato criminoso que atenta contra o meio ambiente, a atmosfera, os trabalhadores e a população residente nos entornos dos canaviais, e pedem o fim imediato dessa prática.

A Resolução da Secretaria do Meio Ambiente de SP, Nº. 22 (30/05/2011) retoma o princípio regulamentador do Estado, amparado no critério da umidade do ar, para autorizar a queima da palha da cana no estado de São Paulo. Assim, no art. 5º é condicionado que após dia 30 de novembro de 2011, quando a umidade relativa estiver entre 20% a 30%, por dois dias consecutivos, a queima da palha será suspensa entre as 6 e 20 horas, sendo permitida, mediante autorização, recolhimento de taxa junto a Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Desta sorte, caracterizam-se efeitos meramente protelatórios para gradativa eliminação desta prática, visto sua conjugação às questões sociais do desemprego e pressões da sociedade civil.

Reforça-se que a diretriz central que ampara o cronograma da eliminação gradual foi a assinatura do Protocolo “Agroambiental” do Setor Canavieiro Paulista (04/06/2007) que antecipou, por via de adesão voluntária, os prazos finais para prática da queima da palha, em áreas mecanizáveis de 2021 para 2014, e nas não mecanizáveis de 2031 para 2017. Este instrumento atenderia a pressões internacionais de certificação para o setor.

VI – CONCLUSÕES

Nesta apresentação cronológica das modificações jurídicas sobre questão é possível apontar para primeira década do ano 2000, em 15 atos administrativos, quando comparado às duas décadas anteriores, para emergência da questão ambiental na agenda política paulista, e em específico o controle e a eliminação gradual da técnica da queimada da palha da cana. Como corrobora o argumento de Guedes e Ré (2007 apud SILVA 2010):

[...] desde 1988 os governos estaduais paulistas têm demonstrado uma grande preocupação em normatizar aspectos vinculados à prática da queima da cana. Por pressão principalmente dos grupos ambientalistas, mas também pela condenação da opinião pública em geral a essa prática agrícola, foram baixadas diversas leis que aos poucos foram regulando-a.

Assim, o trabalho buscou caracterizar a trajetória histórica jurídica coadunada as a análise sociológica da questão ambiental de como o Estado, através da vertente da modernização ecológica, as quais pressupõem a possibilidade de conciliação entre o desenvolvimento econômico e a gestão dos recursos ambientais, vislumbra sustentabilidade. O dilema posto nesta questão é a sustentabilidade social, visto o agravamento da exclusão social. A pesquisa apontou para análise das jurisprudências relativas ao tema nos sites do Supremo Tribunal Federal e Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo e discussões sociológicas de Santos (2005) e Pereira (2009) sobre a capacidade do Estado e sociedade civil produzirem novos paradigmas de direitos socioambientais articulados as lutas sociais.

REFERÊNCIAS:

BARDIN, L. Análise de Conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.

BOSSO, R. M. V et alli. Effects of genetic polymorphisms CYP1A1, GSTM1, GSTT1 and GSTP1 on urinary 1-hydroxypyrene levels in sugarcane workers. *Science of the Total Environment*. v. 370, p. 382-390, 2006.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal Brasileiro. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 1965.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil**. atualizada até a Emenda Constitucional nº. 53, de 19 de dezembro de 2006, com notas remissivas às principais leis básicas. Atualização e notas por Wladimir Novaes Filho. 10. Ed. São Paulo: LTR, 2007.

_____. Decreto Nº.2.661, de 08 de julho de 1998. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm>. Acessado em: 10 de abril 2012.

CAREGNATO, R.C.A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. Texto e Contexto .Enferm, Florianópolis, Out-Dez, 15(4) 679-84, 2006.

DAMO, V. “**Relatório Final dos Trabalhos da CPI da Queima da Palha da Cana**”- São Paulo, ALESP-CPI, 2008.

GONÇALVES, J. S. . Avanço da mecanização da colheita e da exclusão social na produção canavieira paulista nos anos 90. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília-DF, v. 16, n. 1, p. 67-86, 1999.

LEITE LOPES, J. S. (Org.) **A Ambientalização dos Conflitos Sociais**; Participação e Controle Público da Poluição Industrial. (coordenador). 1. ed. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 2004.

LEME MACHADO, P.A. **Direito Ambiental Brasileiro**, 14 ed. São Paulo, Malheiros editores, 2006.

LENZI, C. L. **Sociologia Ambiental**: risco e sustentabilidade na modernidade. Bauru/SP: Edusc, 2006.

MILARÉ, E. **Direito do Ambiente**. São Paulo: Editora Revistas dos Tribunais, 2004.

SÃO PAULO (ESTADO). Decreto n. 28.848, de 30 de agosto de 1988. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/188114/decreto-28848-88-sao-paulo-sp>>. Acessado em 15 de abril 2012.

_____. (ESTADO). Lei n. 8.421, de 23 de novembro de 1993. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/176857/lei-8421-93-sao-paulo-sp>>. Acessado em: 13 de abril 2012.

_____. (ESTADO). Resolução Nº 3, de 07 de abril de 1997. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/1997_Res_SMA_SAA_3.pdf>. Acessado em: 12 de abril 2012.

_____. (ESTADO). Decreto Nº 41.719, de 16 de abril de 1997. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=9308>>. Acessado em: 12 de abril de 2012.

_____. (ESTADO). Decreto Nº.42.056, de 06 agosto de 1997. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=5298>>. Acessado em: 10 de abril 2012.

_____. (ESTADO). Lei Nº. 10.547, de 02 maio de 2000. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=4210>>. Acessado em 08 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Lei Nº. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=217>>. Acessado em: 09 de abril 2012.

_____ (ESTADO). Decreto Nº.47.400, de 04 de dez. de 2002. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=1284>>. Acessado em: 04 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Decreto Nº.47.700, de 11 de março de 2003. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=1724#inicio>>. Acessado em: 04 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Decreto Nº. 49.391, de 21 de fevereiro de 2005. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=52815#inicio>>. Acessado em: 05 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente Nº 12, de 11 de março de 2005. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2005_Res_SMA_12.pdf>. Acessado em: 03 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Decreto Nº 49.446, de 07 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=52815#inicio>>. Acessado em: 02 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Decreto Nº 51.063, de 22 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=62706#inicio>>. Acessado em: 03 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente, Nº 33, de 22 de junho de 2007. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2007_res_est_sma_33.pdf>. Acessado em: 03 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente, Nº 34, de 02 de junho de 2007. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2007_res_est_sma_34.pdf>. Acessado em: 02 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente Nº.46 11 de outubro de 2007. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2007_res_est_sma_46.pdf>. Acessado em: 03 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente, Nº.38, de 16 maio de 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/ResolucaoSMA-038-2008.pdf>>. Acessado em: 02 de abril de 2012.

_____ (ESTADO). Resolução Secretaria do Meio Ambiente, Nº.22, de 30 maio de 201. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/ResolucaoSMA-038-2008.pdf>>. Acessado em: 02 de abril de 2012.

PEREIRA, M. H. Novos paradigmas emancipatórios: as lutas pelos direitos socioambientais. **Espaço em Revista**, vol.11, nº1 jan/jul.2009.

PROTOCOLO DE COOPERAÇÃO. **Protocolo Agro-Ambiental do Setor Canavieiro Paulista**, de 04 junhos de 2007. Disponível em: <http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf>. Acessado em: 02 de abril de 2012.

SANT'ANA, Raquel Santos. **Trabalhar é preciso, viver não é preciso: a desumanização do trabalho no corte da cana-de-açúcar e o Serviço Social**. UNESP/Franca. 2009. 230 f. Tese (Livre – Docência) – Faculdade de História, Direito e Serviço Social, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Franca, 2009.

SANTOS, B. S. **Pela mão de Alice: o social e o político na pós-modernidade**. 10 ed. São Paulo: Cortez, 2005.

SILVA, L. E. S e. As queimadas nos Canaviais. O Superior Tribunal de Justiça, o art. 27, parágrafo único, do Código Florestal e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Jus Navigandi**, Teresina, ano 15, n.2405. 31 jan. 2010. Disponível em: <<http://jus.com.br/revista/texto/14279>>. Acessom em: 6 nov. 2011.

SILVA, M. A. M. “Se eu pudesse, eu quebraria todas as máquinas”. In: SILVA. M.A.M. e ANTUNES, R. (orgs.). **O Aveso do Trabalho**. São Paulo: Expressão Popular, 2004.

VIOLA, E. & LEIS, H. A Evolução das Políticas Ambientais no Brasil, 1971-1991: do bissetorialismo preservacionista para o multissetorialismo orientado para o desenvolvimento sustentável. In: HOGAN, Daniel e Vieira, Paulo (orgs). **Dilemas socioambientais e desenvolvimento sustentável**. 1 ed. CAMPINAS: UNICAMP, 1992, p. 73-102.

CAPÍTULO 22

A UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO PORTUÁRIO SUSTENTÁVEL PARA EXPORTAÇÃO DE GRANEL SÓLIDO AGRÍCOLA

Jonathan Dos Santos Passos
Leandro Aguiar De Oliveira
Ligiane Costa Silva

RESUMO

A movimentação de grãos nos portos é um fato que vem preocupando as autoridades competentes para o fato, pois esse processo gera uma poluição ambiental que afeta a saúde dos trabalhadores locais, bem como à todos que estão próximos do complexo portuário. Portanto, pensando nisso, foi criado um equipamento especialmente para este fim, cuja responsabilidade é zerar as chances de emissões de material particulado advindos desse tipo de operação visando o padrão do indicador de sustentabilidade. O presente trabalho estuda à respeito deste equipamento pois é ainda uma novidade no setor, que tem potencial para ser implementando em muitos portos do país, visto seu potencial na questão de sustentabilidade, visando assim, a forte concorrência. O presente artigo estuda a respeito da movimentação portuária de carga e descarga de granel sólido agrícola do terminal para os porões dos navios e sua emissão poluente. A pesquisa possui fins descritivos interligando-se ao método qualitativo.

PALAVRAS-CHAVE: granel sólido 1. Equipamento 2. material particulado 3.

INTRODUÇÃO

O mundo está passando por um grande crescimento e desenvolvimento tecnológico de forma acelerada, nota-se que a cada ano, surge novas tecnologias e conceitos nos diversos setores empresariais, industriais etc. No entanto, não se pode esquecer da economia sustentável, ou seja, àquela que considera o uso inteligente dos recursos naturais no mundo atual, pensando, também, nas futuras gerações. O setor industrial investe em máquinas, equipamentos e tecnologias para reduzir o impacto ambiental de suas produções e serviços. Observando sob a ótica do indicador de desenvolvimento sustentável, foi verificado um equipamento que é capaz de minimizar o impacto ambiental da operação de granel sólido portuária.

O Brasil tem o seu potencial revelado através do transporte aquaviário, exportando cerca de 700 milhões de toneladas de mercadoria a cada ano. Sendo uma costa navegável de 8,5 mil km, sabemos que há um grande impacto ambiental neste tipo de atividade.

O material particulado, refere-se à descarga de granel sólido agrícola, que através desta atividade, poluem o ar. Este processo causa problemas respiratórios nos trabalhadores portuários por conviverem com este tipo de atividade diariamente. Nesse sentido, foi

desenvolvido um moderno equipamento, que opera com sistema elétrico e eletrônico, sendo capaz de interromper o trabalho caso o limite de dispersão de poeira no ar fique indesejável, assim, não só preenche os quesitos na gestão ambiental e sustentabilidade como um todo, nos seus três pilares: econômico, social e ambiental, mas, garante a saúde dos trabalhadores portuários e moradores locais.

Buscando solucionar ou amenizar este problema acarretado pela poluição do ar através da emissão de particulados advindos da descarga de granel sólido, justifica-se o presente estudo.

O objetivo deste trabalho é melhor entender a relação da emissão de material particulado (MP's) em área portuária durante sua movimentação para os navios, bem como sobre quais os equipamentos portuários utilizado no porto de São Sebastião/SP, que visa diminuir os impactos provocados por essa movimentação.

A pesquisa possui fins descritivos, utilizando-se do método qualitativo. A pesquisa apoiou-se metodologicamente de forma descritiva, apresentando as características do fenômeno que está sendo estudado, onde o pesquisador cria uma hipótese para alcançar a solução do problema (FLEURY E WERLANG, 2017). Utilizou-se ainda, o método qualitativo, que de acordo com Prodanov e Freitas (2013), é o qual o pesquisador faz a coleta dos dados, passando pelo processo de analisá-los, e, por fim, descrevê-los tecnicamente.

EMBASAMENTO TEÓRICO

Segundo Cezar (2017), a preocupação com material particulado na área portuária é constante pois este tipo de material fica suspenso no ar durante as operações de carga e descarga de granel sólido agrícola dos navios. Esse tipo de poluição não somente causa problemas respiratórios nos trabalhadores portuários pelo fato de respirarem a poeira, bem como todos que estiverem no entorno do porto, como os moradores locais.

A preocupação em relação a este fato, fez com que houvesse a criação de uma lei específica que controlasse esse tipo de emissão no ar. O primeiro feito, foi durante a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL), em 1973, onde após algum tempo, ficou conhecida por MARPOL 73/78. Essa convenção tem como propósito o estabelecimento de leis e condutas de que visam a eliminação da poluição do meio ambiente por óleos e outras substâncias danosas oriundas dos navios, como àquela advinda da descarga acidental no ar.

No Brasil, existem padrões vigentes de qualidade do ar, que foram estabelecidos e fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), onde não deve ser excedido

mais que uma vez ao ano, pelos navios que atracam nos portos do Brasil (CEZAR, 2017). Além de ser emitido durante o tipo de operação citado, o material particulado pode, também, ser emitido durante o transporte dos grãos ou em sua armazenagem.

O granel sólido agrícola, durante a armazenagem, fica solto em silos ou em armazéns graneleiros. Em muitos casos, são armazenados à céu aberto, pois, ficam em estruturas que devem permitir o acesso de maquinário e trabalhadores para a movimentação do produto, portanto, gerando uma poluição no ar, água e solo, devido ao fato de estar estocado à céu aberto, fica exposto a ação da chuva, sol, vento, que dissipam todo o material particulado proveniente do produto movimentado (BONFIM, 2014).

Legislação para a Poluição do Ar Aplicável ao Material Particulado

A partir da Lei 1.413, de 14 de agosto de 1975, instaurou-se a obrigação da proteção da qualidade do ar. A lei diz sobre a o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, que mais tarde, em 1980, foi complementada pela Lei 6.803. Conforme a Lei 6.938/8, é obrigação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), diante de suas resoluções, estabelecer padrões nacionais para o controle da emissão de poluentes no ar. Em Junho de 1989 foi implementando o Programa Nacional de Controle do Ar (PRONAR), que “estabelece limites para os níveis de emissão de poluentes a nível nacional, dividindo os tipos e as fontes de poluentes baseando-se nos padrões de qualidade do ar”. Através de estudos científicos acerca dos poluentes x saúde humana, estabeleceu-se níveis máximos da concentração, como margem de segurança. (BONFIM, 2014).

DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

Emissões Atmosféricas da Operação Portuária

As emissões atmosféricas advindas de uma instalação portuária são de: esteiras, moegas, armazéns, *shiploaders*, ressuspensão (trânsito de veículos) e gases de combustão. Na movimentação de granéis líquidos, por exemplo, as emissões atmosféricas podem vir dos tanques, tubulações (flanges e válvulas), bombas, mangotes, sistema de tratamento e gases de combustão, bem como de acidentes portuários (*SANTOS PORT AUTHORITY*, 2019).

Já para movimentação de carga e descarga para produtos à granel sólido nos portos, é feito através de *shiploader*, um equipamento de grandes dimensões que se desloca sob trilhos ou pneus, assim, faz o transbordo da carga para os navios através de esteiras rolantes que estão fixas no topo do equipamento, dessa forma, despeja o granel dentro do porão (RIBEIRO, 2009). Ainda conforme Cattani, *et al*, (2008), este equipamento portuário fica de frente ao berço de

atracação e que através das esteiras, levam a carga do armazém graneleiro ou silos, direto aos porões do navio.

Contudo, este equipamento não possui qualquer tipo de condição especial que evite a contaminação por parte dos materiais particulados jogados no ar durante a movimentação do produto à granel, portanto, é necessário investimentos por parte dos terminais, em *shiploaders* especiais dotados de supressores de pó para a movimentação direta no porão do navio, além de sugadores de pó que podem ficar excedentes no ar (CÉZAR, 2017).

Conforme a Santos Port Authority (2019), as medidas de controle são feitas por meio de certos procedimentos: nos operacionais se dá através sistemas fechados, na velocidade da operação, à atenção às condições climáticas e pela manutenção e limpeza adequadas dos equipamentos; na tecnologia: troca de equipamentos obsoletos e controles suplementares; e na fiscalização: fiscalização dos geradores, maior fiscalização por parte da autoridade portuária, do órgão licenciador e da sociedade; e não menos importante: estar e agir de acordo com o Licenciamento Ambiental 8437/2015 que segundo a Presidência da República, “estabelece as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União”, bem como estar de acordo com normas da Companhia Docas do Estado de São Paulo (CETESB) ou Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA), à depende da movimentação anual do terminal, sendo: 450.000 TEU/ano ou 15.000 TON/ano, acima disso é controlado e fiscalizado pelo IBAMA e abaixo desse número, é pela CETESB.

Equipamento para Descarga de Material Granular Pulverulento com Sistema Antipoluição

O porto de São Sebastião é um dos 5 portos do Brasil a possuir licença ambiental, com licença de operação, que é considerada a última fase do licenciamento ambiental (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2014). Além disso, possui um equipamento de inovação ambiental, criado pelo operador portuário PRONAVE, empresa de agenciamento, em 2007. Este equipamento reduz a poluição ambiental causada pela descarga de grânéis sólidos agrícolas durante o transbordo do terminal para o navio. Trata-se de uma inovação tecnológica que resultou em um novo processo de descarga de grânéis sólidos para reduzir a emissão de particulados durante a operação de descarga dos navios e transbordo para os caminhões. (LOPES, 2011).

O lançamento de poluentes é um fator preocupante, pois, se lançadas em quantidade superior a permitida, podem ocasionar doenças respiratórias, o que prejudica a vida da população do entorno do complexo portuário (BONFIM, 2014).

Dessa forma, a fim de evitar a dispersão dos materiais particulados que podem acarretar problemas respiratórios aos trabalhadores portuários, além de acarretar a formação de poeira sob carros e vias públicas, a PRONAVE passou a buscar soluções para este problema, tendo iniciado suas pesquisas em 1989, evoluindo em sua tecnologia, por fim, em 2007, chegou a criação do equipamento para descarga de material granular pulverulento com sistema antipoluição. A empresa de agenciamento de comércio exterior, revolucionou o conceito dessa operação. É uma solução sustentável, que consiste em um equipamento que evita a emissão de particulados na atmosfera, possuindo um sistema de antipoeiramento por exaustão. O termo utilizado para nomear o equipamento refere-se a poeira que é lançada no ar devido à movimentação da carga de grãos, sendo pulverulento a referente a nuvem de poeira que é visível durante este processo. Atualmente, o porto de São Sebastião e de Santos possuem o equipamento que é aliado à tecnologia sustentável, sendo capaz de reduzir em 95% a emissão de material particulado que é emitido na operação de transbordo dos grãos. (PRONAVE, [s.d]).

No transporte aquaviário, o granel sólido agrícola detém a maior representatividade na movimentação portuária do país. Segundo estatísticas apresentadas pela ANTAQ, teve queda de -8,03% entre os meses de janeiro à março do ano de 2020.

Durante décadas, a descarga de graneis sólidos foi realizada da mesma maneira, onde via-se uma imensa nuvem de poeira, trabalhadores portuários cobertos de pó, emissão de partículas em grande quantidade por toda área portuária, poluição visual e ambiental, bem como o acúmulo da mercadoria pelo cais. (LOPES, 2011).

No porto de São Sebastião, em São Paulo, a movimentação de descarga do material à granel era feito através de moegas convencionais, o que acarretava os problemas já citados.

Com a pressão da comunidade que usufruía da balsa em torno do cais, além das exigências ambientais por parte da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a PRONAVE então, tomou como oportunidade de revolucionar o conceito de descarga de graneis (ANTAQ, 2016).

O equipamento tem o nome técnico de Equipamento para Descarga de Material Granular Pulverulento com Sistema Antipoluição, mas é conhecido pelos trabalhadores portuários como “funil”, além de sustentável, ser efetivo na redução da emissão dos

particulados, ainda manteve a produtividade, não havendo perdas de produtos que utilizam o equipamento para descarga. Segundo a própria empresa, o equipamento possui um sistema com sinais luminosos que tem por objetivo informar ao operador do guindaste os limites de altura e de carga na operação à ser executada, também possui sistema de aspiração, sendo capaz de transmitir as poeiras emitidas para filtros especiais. Esse sistema é capaz de controlar todo processo em tempo real através de sensores elétricos e eletrônicos. Durante toda a operação, o terminal possui uma estação meteorológica que mede a direção e velocidade dos ventos, com propósito de ser capaz de impedir a operação para evitar a dispersão de poeira no meio ambiente, caso seja necessário. (ANTAQ, 2016).

Na Figura 1 é possível observar o sistema antipoluição que o equipamento possui.

Figura 1. Sistema Antipoluição



Fonte: ANTAQ, (2016).

As operações com esse equipamento reduziram de 95% a 98% da poeira gerada na operação de descarga de granel sólido agrícola. Além do porto de São Sebastião, que já usa em larga escala esse equipamento, em 2010, o porto santista adquiriu uma unidade para realizar este tipo de operação (ARAÚJO, 2018).

Quanto aos benefícios advindos da implementação do equipamento, além da redução de emissão de particulados, é capaz de influenciar o processo de gestão ambiental do porto de São Sebastião, podendo-se tornar uma referência devido as boas práticas no quesito meio ambiente e sustentabilidade como um todo, já que além de garantir quase que 100% de redução da emissão de particulados (pilar ambiental), garante a saúde dos trabalhadores e moradores, bem como a não poluição visual (pilar social), capaz de manter, também, a sua produtividade. (pilar econômico) (LOPES, 2011).

Indicadores Ambientais

O estudo analisou sob a ótica de indicadores ambientais o equipamento à ser discutido posteriormente, contudo, afim de definir a palavra “Indicador” e seu uso, que, segundo a Escola de Serviço Público do Espírito Santos (2018), são instrumentos que visam identificar e medir ou analisar aspectos a algum conceito, fenômeno, algum projeto, serviço ou processo, bem como seus resultados. Portanto são usados para monitorar processos a fim de que se garanta a eficácia no alcance de metas, a eficiência na utilização de produtos e a efetividade das ações, podendo assim, avaliar os resultados que foram alcançados

Já os indicadores ambientais, conforme definido pela ABNT NBR ISO 14001, são ferramentas que auxiliam na gestão ambiental da empresa, levantando informações sobre os impactos ambientais infringidos contra natureza e humanidade, que a empresa causa para exercer suas atividades. Sendo assim, esses impactos podem ser a redução do consumo de plástico, qualidade do recurso hídrico, proteção à biodiversidade diminuição de emissão atmosférica, como citaremos, ao uso do equipamento utilizado. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, os indicadores ambientais “são estatísticas selecionadas que representam ou resumem alguns aspectos do estado do meio ambiente, dos recursos naturais e de atividades humanas relacionadas.”

Para o setor portuário, é utilizado o Índice de Desempenho Portuário (IDA), implementado e criado pela Agência Nacional de Transporte Aquaviário em parceria com o Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília

(CEFTRU/UNB), em 2012. O IDA foi criado através das avaliações do Sistema Integrado de Gestão Ambiental, pois com ele foi feito diversos estudos e pesquisas em campo, e, a partir dessas observações e com os resultados obtidos, surgiu a necessidade de que esse desempenho ambiental pudesse ser visto de uma forma mais clara e objetiva, a partir dessa ideia, foi desenvolvido o IDA. (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS, [s.d]).

O IDA tem por finalidade acompanhar e controlar a gestão ambiental nos portos do Brasil, portanto, sendo uma ferramenta que permite quantificar e simplificar as informações para um entendimento fácil por parte dos interessados, e, qualificando os portos em um ranking para gerar mais competitividade no setor. (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS, [s.d]).

Conforme a ANTAQ [s.d], o índice de desempenho ambiental portuário, é composto por 38 indicadores, classificados em 4 categorias, sendo que 14 indicadores são indicadores globais. O IDA é aplicado dentro dos portos organizados e também nos terminais de uso privado.

O estudo foi concentrado na categoria físico-química, e especificamente no seguinte indicador global: Monitoramento do ar e ruído, e dentro dele, foi observado o indicador específico de Poluentes atmosféricos (gases e particulados), nos portos de São Sebastião e Santos.

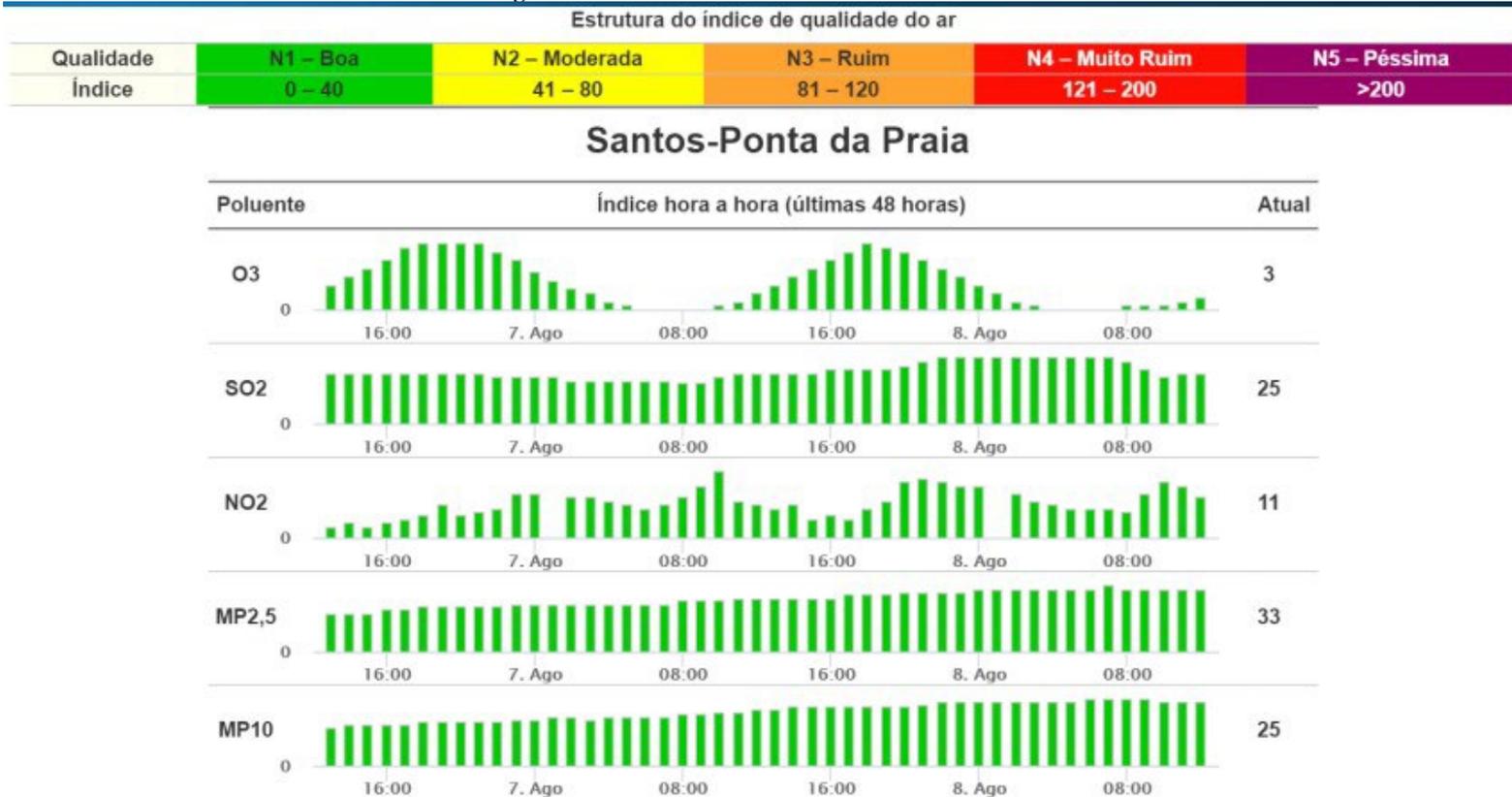
O Indicador de Monitoramento do Ar e Ruído nos Portos de São Sebastião e Santos

Conforme a CETESB (2015), a qualidade do ar está diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de gases poluentes na atmosfera, sendo estes, de origem veicular e industrial. Diante da temática da presente pesquisa, observa-se que as emissões industriais afetam de forma significativa a qualidade do ar em regiões específicas, como o entorno do Porto de Santos e São Sebastião, ao passo que as emissões veiculares afetam a qualidade do ar de grandes centros urbanos.

Portanto, afim de avaliar, de forma geral, o desenvolvimento sustentável dos portos no Brasil, através da Resolução nº 2.650/2012, foi instituído o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), nada mais que um instrumento utilizado para acompanhar e controlar a gestão ambiental nas instalações portuárias. No IDA, são utilizados 38 indicadores que são classificados em 4 categorias e 14 indicadores globais. As categorias são: econômicooperacional, sociocultural, físico-química e biológico-ecológico. (ANTAQ, 2020).

Para o monitoramento do ar, existe o indicador próprio afim de que seja avaliado a qualidade do ar em determinada instalação portuária, e o monitoramento é feito da seguinte maneira, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2. Monitoramento do Ar no Porto de Santos



Fonte: CETESB, (2015).

Entende-se que são avaliados 5 tipos de emissões, sendo 2 de material particulado, onde atribui-se nota de 1 à 5, conforme critério de avaliação. Sendo N1 para boa e N5 para péssima. Diante disto, através do IDA de 2018, último divulgado em sua integralidade, os portos de São Sebastião e Santos, receberam as respectivas notas para o indicador específico de “Poluentes

Atmosféricos (gases e particulados)” que encontra-se dentro do indicador global de “Monitoramento do Ar e Ruídos”: N5 e N4. No Ranking divulgado em 2018, o porto de São Sebastião ocupava a 7ª colocação, obtendo 83,15 pontos. Já o porto de Santos, ocupava a 5ª colocação, com 83,32 pontos (ANTAQ, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo desta pesquisa, verificou-se que a preocupação com o meio ambiente anda lado a lado. No mundo todo, bem como no Brasil, a sustentabilidade está se tornando prioridade. Portanto, os portos brasileiros já se mobilizaram para adaptar-se a esta realidade.

É fato que àqueles terminais que buscam crescer economicamente respeitando as leis vigentes relacionadas ao meio ambiente, terão maior competitividade no mercado, inclusive

estrangeiro. Órgãos governamentais, juntamente com a população, estão cada vez mais exigindo das empresas, cuidados com os impactos dos poluentes na natureza

Como visto na necessidade de criar um equipamento sustentável a fim de eliminar as emissões que existem na operação de movimentação de granel sólido agrícola nos portos. A empresa PRONAVE, de agenciamento de comércio exterior, através de pesquisas que levaram alguns anos, conseguiu criar o equipamento para descarga de material granular pulverulento com sistema antipoluição, cuja função é a diminuição das emissões dos particulados provenientes desta movimentação, que acarreta numa imensa nuvem de poeira, que é o material granular pulverulento. O equipamento é capaz de reduzir em torno de 95% dessa poluição, o que traz benefícios tanto para o meio ambiente, quanto aos trabalhadores e moradores do entorno do porto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sustentabilidade tornou-se um assunto importante em grande parte dos processos portuários, por ter um contato direto com o meio ambiente, sendo marítimo, solo e ar. Assim, a preocupação em eliminar ou diminuir os impactos existentes nas operações do porto cresce a cada ano, junto com as tecnologias capazes de frear os impactos ambientais advindos de tal fato.

Os terminais espalhados pelo Brasil vêm buscando aperfeiçoar seus processos no que diz à respeito ao assunto, investimento em equipamentos com tecnologias específicas para este fim, buscando enquadrar-se nas legislações vigentes relacionadas ao meio ambiente, bem como as exigências feitas por convenções internacionais, como a MARPOL.

Conclui-se que apesar de uma certa precariedade existentes em equipamentos obsoletos, as empresas buscam adequar-se neste quesito, não somente para obedecer a lei, mas como uma conduta ética e moral, visando respeitar a natureza e a geração futura que dependerá dos mesmos recursos que estão sendo utilizados hoje. Para pesquisas futuras, sugere-se pensar na possível adaptação de equipamentos já existentes nos terminais, para que pudesse diminuir nos custos da aquisição de um equipamento novo, visto que custaria mais ao caixa da empresa, bem como verificar quais terminais estão certificados pela ABNT NBR 14.0001:2015 e pensar na adequação dos principais portos à temática do Porto Verde.

REFERÊNCIAS:

AGUASAUDÁVEL. **5 Fatos sobre a Sustentabilidade que Você Precisa Saber!** [s.d]. Disponível em: <https://aguasustentavel.org.br/2020/05/04/5-fatos-sobre-sustentabilidade>

quevoce-precisa
saber/?gclid=CjwKCAjwwYP2BRBGEiwAkoBpAngJJguyz92xRzOkBRV8vEHh1AhX7B7
5SemKhX2H50k8gtKTIvYpRoCKD4QAvD_BwE

ARAÚJO, Paulo Garrido M. de. **Operações Sustentáveis para Descarga de Granéis Sólidos. 2018.** Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/20/anais/arquivos/18.pdf>

BRASIL. Agência Brasileira de Normas Técnicas. **Introdução à ABNT NBR ISO 14.001:2015. [s.d]** Disponível em: <http://www.abnt.org.br/publicacoes2/category/146-abntnbro-iso-14001>

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Análise da Movimentação Portuária. 2013.** Disponível em:
<http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/Tabelas/AnaliseMovimentacaoPortuaria.pdf>

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **O Desempenho Portuário Nacional Frente a Pandemia do Covid 19. 2020.** Disponível em:
http://portal.antaq.gov.br/wpcontent/uploads/2020/05/O_desempenho_portuario_nacional_frente_a_pandemia_da_Covid_19_v1.3_.pdf

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Índice de Desempenho Ambiental. [s.d].** Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/meio-ambiente/indice-dedesempenho-ambiental/>.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Estrutura e Indicadores. [s.d].** Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/meio-ambiente/indice-dedesempenhoambiental/estrutura-e-indicadores/>.

BRASIL. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. 2015.** Disponível em:
<https://cetesb.sp.gov.br/ar/wpcontent/uploads/sites/28/2013/12/ar-2015.pdf>

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Índice de Desempenho Ambiental – IDA. 2020.** Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-detransportes/sistema-de-transportes/indice-de-desempenho-ambiental-ida>

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Ranking IDA. 2020.** Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/ResultadosIda/>

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Licenciamento Ambiental – Portos. 2014.** Disponível em: <http://transportes.gov.br/conteudo/99-gest%C3%A3o-ambiental-portos/5521licenciamentoambiental-portos.html>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Indicadores Ambientais. [s.d].** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html>.

BRASIL. Presidência da República. **Decreto nº 8.437, de 22 de Abril de 2015. 2015.**

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-

2018/2015/Decreto/D8437.htm#:~:text=Decreto%20n%C2%BA%208437&text=Regulament
a%20o%20disposto%20no%20art,ser%C3%A1%20de%20compet%C3%Aancia%20da%20
Uni%C3%A3o.

BRASIL. *Santos Port Authority*. **Seminário O Ar que Respiramos. 2019**. Disponível em:
[https://sitefilesstorage.blob.core.windows.net/uploads/2019/08/file-
20190813114217apresentacao-porto-de-santos.pdf](https://sitefilesstorage.blob.core.windows.net/uploads/2019/08/file-20190813114217apresentacao-porto-de-santos.pdf)

BONFIM, Juliana Campos. **A Atividade Portuária de Transporte e Armazenagem de
Granel no Porto de Santos, a Poluição Atmosférica por Material Particularizado e a
Responsabilização pelo Dano. 2014**. Disponível em:
[http://biblioteca.unisantos.br:8181/bitstream/tede/2382/2/Juliana%20Campos%20Bomfim.p
df](http://biblioteca.unisantos.br:8181/bitstream/tede/2382/2/Juliana%20Campos%20Bomfim.pdf)

CATTANI, C. RAZZAK, S. FIZZO, K. **Dicionário Básico Portuário. 2008**. Disponível em:
<http://www.portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/dicionario.pdf>.

CEZAR, Rita de Cássia Martins, *et al.*. **Poluição por Material Particulado decorrente da
Movimentação de Granel Sólido no Porto de Santos. 2017**.

ESCOLA DE SERVIÇO PÚBLICO DO ESPÍRITO SANTO. **Gestão Por Indicadores. 2018**.
Disponível em:
<https://esesp.es.gov.br/Media/esesp/Apostilas/Gest%C3%A3o%20por%20Indicadores2.pdf>.

FLEURY, Paulo Fernando. **A Infraestrutura e os Desafios Logísticos das Exportações
brasileiras. 2005**. Disponível em: [https://docplayer.com.br/11268126-A-infra-estrutura-e-
osdesafios-logisticos-das-exportacoes-brasileiras.html](https://docplayer.com.br/11268126-A-infra-estrutura-e-os-desafios-logisticos-das-exportacoes-brasileiras.html)

FLEURY, Maria Tereza Leme; WERLANG, Sergio Ribeiro da Costa. **Pesquisa Aplicada:
Conceitos e Abordagens. [S.l.]: 2017**.
<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/apgvpesquisa/article/view/72796>.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Aqua-Portos é Destaque na Revista Portos e Navios. 2015**.
Disponível em: [https://vanzolini.org.br/noticia/aqua-portos-e-destaque-na-revista-portos-
enavios](https://vanzolini.org.br/noticia/aqua-portos-e-destaque-na-revista-portos-e-navios).

LOPES, Camila Papa. **Competitividade Sustentável na Atividade Portuária: São Sebastião,
Litoral Norte do Estado de São Paulo. 2011**. Disponível em:
[http://biblioteca.unisantos.br:8181/bitstream/tede/508/1/CAMILA%20PAPA%20LOPES.pd f](http://biblioteca.unisantos.br:8181/bitstream/tede/508/1/CAMILA%20PAPA%20LOPES.pdf)

LUTZENBERGER, José. **Vivemos um Modelo de Consumo Suicida e sem Futuro. 2002**.
Disponível em: <http://www.fgaia.org.br/homenagens/armando.html>.

PENSAMENTO VERDE. **A Economia e a Sustentabilidade Ambiental. 2013**. Disponível
em: [https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/a-economia-e-
asustentabilidadeambiental/](https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/a-economia-e-asustentabilidadeambiental/).

PIZZIANI, Luciana. SILVA, Rosemary Cristina Da. *et al.* **A Arte da Pesquisa Bibliográfica
na busca do Conhecimento. 2012**. Disponível em:
https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896/pdf_28

PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**, Novo Hamburgo: 2013.

RIBEIRO, E. F. **Logística Portuária**. 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/54953390/operacaoportuaria>.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Desenvolvimento Sustentável: Uma Perspectiva Econômico-Ecológica**. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142012000100006.

SILVA, Vitor Guimarães. **Sustentabilidade em Portos Marítimos Organizados no Brasil: Discussão para Implantação de um Sistema de Indicadores de Desempenho Ambiental**. 2014. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Vitor_Guimar%C3%A3es_da_Silva.pdf.

TORRESI, Susana I. Córdoba de. **O que é Sustentabilidade?**. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000100001&script=sci_arttext.

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Energias renováveis e valorização de resíduos:

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

Edilene Dias Santos
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

Energias renováveis e valorização de resíduos:

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

Edilene Dias Santos
Francisco Oricelio da Silva Brindeiro
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022